

平成 22 年度 卒業論文

ナイルデルタ周辺の大気水収支と雲分布の特徴

筑波大学生命環境学群地球学類

地球環境学主専攻

200710791

入柿ゆいま

2011 年 2 月

# 目次

要旨	iii
Abstract	iv
表目次	v
図目次	vii
本文	
1. はじめに	
1.1 水蒸気輸送の研究	1
1.2 雲分布の研究	1
1.3 ナイルデルタについて	2
1.4 目的	2
2. 研究方法	
2.1 衛星雲量	2
2.2 地上写真	3
2.3 大気水収支法	3
2.4 結果の比較	
2.4.1 地域別物理量	9
2.4.2 持ち上げ凝結高度	9
2.4.3 大気安定度	10
2.4.4 可降水量の時間変化に対する寄与	11
2.4.5 大気水収支法結果と現地観測データの比較	11
3. 結果	
3.1 衛星雲量と地上雲量の比較	11
3.2 雲形成に関する事例研究	
3.2.1 秋の雲形成の事例 (2009年10月22日)	12
3.2.2 冬の雲形成の事例 (2010年1月11日)	13
3.2.3 春の雲形成の事例 (2010年5月18日)	15
3.2.4 夏の雲形成の事例 (2010年8月8日)	16
3.3 雲分布と大気水収支の日変化 (月平均による考察)	17
3.3.1 2009年9月	17
3.3.2 2009年10月	18
3.3.3 2009年11月	19
3.3.4 2009年12月	20

3.3.5	2010年1月	20
3.3.6	2010年2月	21
3.3.7	2010年3月	21
3.3.8	2010年4月	22
3.3.9	2010年5月	23
3.3.10	2010年6月	24
3.3.11	2010年7月	24
3.3.12	2010年8月	24
3.3.13	可降水量の変化に対する寄与率の月変化	25
3.3.14	まとめ	26
3.4	季節別雲分布と大気水収支の特徴	27
3.5	年間の大気水収支	28
3.6	大気水収支法と現地地上観測の蒸発散量の比較	28
4.	考察	
4.1	気候システムとの関係	29
4.2	地域気候への影響	29
5.	結論	30
	謝辞	31
	参考文献	32
6.	その後の解析 (雲プロダクトの変更)	258

# ナイルデルタ周辺の大気水収支と雲分布の特徴

入柿ゆいま

## 要旨

水蒸気の輸送を知ることは蒸発散量と降水量の空間・時間分布を考える上で重要である。雲はある地域の放射収支に影響を与えるため地域気候形成において重要である。そこで地域規模・全球規模で大気水収支に関する研究がされてきたが、ナイルデルタではこれまで行われてこなかった。本研究では European Centre of Midrange Weather Forecast の客観再解析データを用いたナイルデルタ周辺の大気水収支と雲分布の特徴を明らかにした。

雲分布は大きな季節変化を示した。上層雲は秋の終わりから冬にかけて増え、春に少なくなり夏には現れない。下層雲はどの季節にも現れたが、冬に最も多くなった、また雲は夏を除いてどの季節のどの時間でも一貫して海上に多く、次いでナイルデルタ上・砂漠上となった。ナイルデルタ上でのみ低層雲は朝に現れて午後に消えるというパターンが見られた。雲分布は大気柱内の水蒸気量の増加と低層の雲分布とその時間変化によって支配されているが、水蒸気量に影響を与えるのはどの地域も一貫して水蒸気発散量であった。ただし夏は蒸発散量が水蒸気量に大きく影響を与えていた。水蒸気輸送は地中海における気圧配置の季節変化と対応しており、冬に西から東、夏に北西から南東に水蒸気が輸送される。また東西方向では水蒸気輸送は収束、南北方向の水蒸気輸送は発散する。地域別にみると東西方向では海上、南北方向の水蒸気輸送は砂漠上で最も多く、蒸発散及び降水による鉛直方向の水蒸気輸送はナイルデルタにおいて最も多くなった。蒸発散により雲が増えるとナイルデルタの気温に対して正または負のフィードバックを与える可能性があるため今後更なる研究が要求される。

キーワード：雲， 大気水収支， 蒸発散量， 水蒸気輸送， ナイルデルタ

# The features of atmospheric water balance and cloud formation over Nile Delta

Yuima Irigaki

## Abstract

Water vapour transport is important to consider zonal and timely distribution of evapotranspiration and precipitation. Cloud is also an important factor as it modifies radiation balance in a region. Some studies of these themes have been carried out in regional and global scale but none in the Nile Delta, Egypt. This paper aims to clarify the features of atmospheric water balance and cloud formation with European Centre of Midrange Weather Forecast reanalysis data.

Cloud formation showed distinctive seasonal variety. High level clouds appear in late autumn and increase over winter, decrease in spring and disappear in summer. Low level clouds generate in all season and showed its peak in winter. Clouds are most detected over ocean followed by Nile Delta, desert in all season except summer. Low level clouds appeared in the morning and dissipated over Nile Delta and it was not detected over the other area. The amount of water vapour and its variation over time controlled cloud formation. The main factor of controlling the amount of water vapour in the atmospheric column was moisture divergence in all area regardless of time of a day though evaporation contributed to cloud formation in summer. The features of water vapour transport were highly corresponded to the general seasonal air mass position around Mediterranean Sea. Moisture is transported from west to east in winter and from north-west to south-east in summer. Moisture converges in zonal transport and diverges in meridional direction. The zonal moisture transport is the biggest over ocean, the meridional moisture over desert and the vertical transport over Nile Delta. The increase of moisture through evapotranspiration from the irrigated surface in Nile Delta can affect the regional climate as clouds have both positive and negative feedback to climate and further studies are required to investigate the relation between them.

key words: cloud, atmospheric water balance, evapotranspiration, water vapour transport, Nile Delta

## 表目次

表 1	AWS 測定項目 .....	38
表 2	持ち上げ凝結高度 (2009 年 10 月 22 日, hPa) .....	45
表 3	持ち上げ凝結高度 (2010 年 1 月 11 日, hPa).....	65
表 4	持ち上げ凝結高度 (2010 年 5 月 18 日, hPa) .....	85
表 5	持ち上げ凝結高度 (2010 年 8 月 8 日, hPa).....	105
表 6	持ち上げ凝結高度 (2009 年 9 月平均, hPa).....	123
表 7	蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 9 月平均) .....	128
表 8	水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 9 月平均) .....	129
表 9	持ち上げ凝結高度 (2009 年 10 月平均, hPa) .....	131
表 10	蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 10 月平均) .....	137
表 11	水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 10 月平均) .....	138
表 12	持ち上げ凝結高度 (2009 年 11 月平均, hPa).....	140
表 13	水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 11 月平均) .....	146
表 14	水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 11 月平均) .....	147
表 15	持ち上げ凝結高度 (2009 年 12 月平均, hPa).....	149
表 16	蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 12 月平均) .....	155
表 17	水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 12 月平均) .....	156
表 18	持ち上げ凝結高度 (2010 年 1 月平均, hPa).....	158
表 19	蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 1 月平均) .....	164
表 20	水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 1 月平均) .....	165
表 21	持ち上げ凝結高度 (2010 年 2 月平均, hPa) .....	167
表 22	蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 2 月平均) .....	173
表 23	水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 2 月平均) .....	174
表 24	持ち上げ凝結高度 (2010 年 3 月平均, hPa) .....	176
表 25	蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 3 月平均) .....	182
表 26	水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 3 月平均) .....	183
表 27	持ち上げ凝結高度 (2010 年 4 月平均, hPa) .....	185
表 28	蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 4 月平均) .....	191
表 29	水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 4 月平均) .....	192
表 30	持ち上げ凝結高度 (2010 年 5 月平均, hPa) .....	194
表 31	蒸発散量の可降水量の時間変化への寄与率 (2010 年 5 月平均) .....	200
表 32	水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 5 月平均) .....	201

表 33	持ち上げ凝結高度 (2010 年 6 月平均, hPa) .....	203
表 34	蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 6 月平均) .....	208
表 35	蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 6 月平均) .....	209
表 36	持ち上げ凝結高度 (2010 年 7 月平均, hPa) .....	211
表 37	蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 7 月平均) .....	216
表 38	水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 7 月平均) .....	217
表 39	持ち上げ凝結高度 (2010 年 8 月平均, hPa) .....	219
表 40	蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 8 月平均) .....	224
表 41	水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 8 月平均) .....	225
表 42	可降水量の時間変化に対する寄与率の時間平均 (季節別) .....	226
表 43	持ち上げ凝結高度 (hPa) .....	230
表 44	蒸発散量積算 (mm) .....	239

## 図目次

図 1	研究対象地域.....	35
図 2	エジプトの地図.....	36
図 3	全自動気象観測装置 (AWS)の位置.....	37
図 4	地上写真撮影の様子.....	39
図 5	全天画像の教師付き分類の様子 (太陽が含まれていない場合).....	40
図 6	全天画像の教師付き分類の様子 (太陽が含まれている場合).....	41
図 7	地上観測と衛星観測の比較.....	42
図 8	地上観測雲量と衛星観測雲量の相関の比較図.....	43
図 9	全雲量の分布 (2009 年 10 月 22 日).....	44
図 10	時間別気象要因高度分布 (2009 年 10 月 22 日).....	45
図 11	時間別気象要因高度分布 2 (2009 年 10 月 22 日).....	46
図 12	高層雲の分布図 (2009 年 10 月 22 日, 250 hPa).....	47
図 13	高層の相対湿度分布図 (2009 年 10 月 22 日 250 hPa).....	48
図 14	低層雲の分布図 (2009 年 10 月 22 日 850 hPa).....	49
図 15	低層の相対湿度分布図 (2009 年 10 月 22 日 850 hPa).....	50
図 16	低層の気温の分布図 (2009 年 10 月 22 日, 850 hPa).....	51
図 17	大気の安定度 (2009 年 10 月 22 日).....	52
図 18	大気安定度の分布図 (2009 年 10 月 22 日, 987.5 hPa).....	53
図 19	海上での鉛直風速 (2009 年 10 月 22 日).....	54
図 20	砂漠上での鉛直風速 (2009 年 10 月 22 日).....	55
図 21	ナイルデルタ上での鉛直風速 (2009 年 10 月 22 日).....	56
図 22	可降水量の分布図 (2009 年 10 月 22 日).....	57
図 23	可降水量の時間変化分布図 (2009 年 10 月 22 日).....	58
図 24	降水量の分布 (2009 年 10 月 22 日).....	59
図 25	蒸発散量の分布図 (2009 年 10 月 22 日).....	60
図 26	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2009 年 10 月 22 日).....	61
図 27	1 hPa から 600 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2009 年 10 月 22 日).....	62
図 28	600 hPa から 1000 hPa までの水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2009 年 10 月 22 日).....	63
図 29	全雲量の分布 (2010 年 1 月 11 日).....	64
図 30	時間別気象要因高度分布 (2010 年 1 月 11 日).....	65
図 31	時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 1 月 11 日).....	66

図 32	高層雲の分布図 (2010 年 1 月 11 日 200 hPa).....	67
図 33	高層の相対湿度分布図 (2010 年 1 月 11 日 200 hPa).....	68
図 34	低層雲の分布図 (2010 年 1 月 11 日 925 hPa).....	69
図 35	低層の相対湿度分布図 (2010 年 1 月 11 日 925 hPa).....	70
図 36	低層の気温の分布図 (2010 年 1 月 11 日, 925 hPa).....	71
図 37	大気の安定度 (2010 年 1 月 11 日).....	72
図 38	大気安定度の分布図 (2010 年 1 月 11 日, 987.5 hPa).....	73
図 39	海上での鉛直風速 (2010 年 1 月 11 日).....	74
図 40	砂漠上での鉛直風速 (2010 年 1 月 11 日).....	75
図 41	ナイルデルタ上での鉛直風速 (2010 年 1 月 11 日).....	76
図 42	可降水量の分布図 (2010 年 1 月 11 日).....	77
図 43	可降水量の時間変化分布図 (2010 年 1 月 11 日).....	78
図 44	降水量の分布図 (2010 年 1 月 11 日).....	79
図 45	蒸発散量の分布図 (2010 年 1 月 11 日).....	80
図 46	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 1 月 11 日).....	81
図 47	1 hPa から 600 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 1 月 11 日)...	82
図 48	600hPa から 1000 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 1 月 11 日) .....	83
図 49	全雲量分布の時間変化 (2010 年 5 月 18 日).....	84
図 50	時間別気象要因高度分布 (2010 年 5 月 18 日).....	85
図 51	時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 5 月 18 日).....	86
図 52	高層雲の分布図 (2010 年 5 月 18 日 250 hPa).....	87
図 53	高層雲の相対湿度分布図 (2010 年 5 月 18 日 250 hPa).....	88
図 54	低層雲の分布図 (2010 年 5 月 18 日 925 hPa).....	89
図 55	低層の相対湿度分布図 (2010 年 5 月 18 日 925 hPa).....	90
図 56	低層の気温の分布図 (2010 年 5 月 18 日, 925 hPa).....	91
図 57	大気の安定度 (2010 年 5 月 18 日).....	92
図 58	大気安定度の分布 (2010 年 5 月 18 日, 987.5 hPa).....	93
図 59	海上での鉛直風速 (2010 年 5 月 18 日).....	94
図 60	砂漠上での鉛直風速 (2010 年 5 月 18 日).....	95
図 61	ナイルデルタ上での鉛直風速 (2010 年 5 月 18 日).....	96
図 62	可降水量の分布図 (2010 年 5 月 18 日).....	97
図 63	可降水量の時間変化分布図 (2010 年 5 月 18 日).....	98
図 64	降水量の分布図 (2010 年 5 月 18 日).....	99
図 65	蒸発散量の分布図 (2010 年 5 月 18 日).....	100

図 66	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 5 月 18 日)	101
図 67	1 hPa から 600 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 5 月 18 日)	102
図 68	600hPa から 1000 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布(2010 年 5 月 18 日)	103
図 69	全雲量分布の分布 (2010 年 8 月 8 日)	104
図 70	時間別気象要因高度分布 (2010 年 8 月 8 日)	105
図 71	時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 8 月 8 日)	106
図 72	低層雲の分布図 (2010 年 8 月 8 日 925 hPa)	107
図 73	低層の相対湿度分布図 (2010 年 8 月 8 日 925 hPa)	108
図 74	低層の気温の分布図 (2010 年 8 月 8 日, 925 hPa)	109
図 75	大気の安定度 (2010 年 8 月 8 日)	110
図 76	大気安定度の分布 (2010 年 8 月 8 日, 987.5 hPa)	111
図 77	海上での鉛直風速 (2010 年 8 月 8 日)	112
図 78	砂漠上での鉛直風速 (2010 年 8 月 8 日)	113
図 79	ナイルデルタ上での鉛直風速 (2010 年 8 月 8 日)	114
図 80	可降水量の分布図 (2010 年 8 月 8 日)	115
図 81	可降水量の時間変化分布図 (2010 年 8 月 8 日)	116
図 82	降水量の分布図 (2010 年 8 月 8 日)	117
図 83	蒸発散量の分布図 (2010 年 8 月 8 日)	118
図 84	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 8 月 8 日)	119
図 85	1 hPa から 600 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 8 月 8 日)	120
図 86	600 hPa から 1000 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 8 月 8 日)	121
図 87	全雲量分布の分布 (2009 年 9 月平均)	122
図 88	時間別気象要因高度分布 (2009 年 9 月平均)	123
図 89	時間別気象要因高度分布 2 (2009 年 9 月平均)	124
図 90	可降水量の分布図 (2009 年 9 月平均)	125
図 91	可降水量の時間変化分布図 (2009 年 9 月平均)	126
図 92	降水量の分布 (2009 年 9 月平均)	127
図 93	蒸発散量の分布 (2009 年 9 月平均)	128
図 94	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2009 年 9 月平均)	129
図 95	全雲量分布の分布 (2009 年 10 月平均)	130
図 96	時間別気象要因高度分布 (2009 年 10 月平均)	131
図 97	時間別気象要因高度分布 2 (2009 年 10 月平均)	132
図 98	低層雲の雲分布図 (10 月平均 900 hPa)	133

図 99	可降水量の分布図 (2009 年 10 月平均).....	134
図 100	可降水量の時間変化分布図 (2009 年 10 月平均) .....	135
図 101	降水量の分布 (2009 年 10 月平均).....	136
図 102	蒸発散量の分布 (2009 年 10 月平均) .....	137
図 103	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2009 年 10 月平均).....	138
図 104	全雲量分布の分布 (2009 年 11 月平均).....	139
図 105	時間別気象要因高度分布 (2009 年 11 月平均).....	140
図 106	時間別気象要因高度分布 2 (2009 年 11 月平均) .....	141
図 107	低層雲分布 (2009 年 11 月平均, 850 hPa).....	142
図 108	可降水量の分布図 (2009 年 11 月平均).....	143
図 109	可降水量の時間変化分布図 (2009 年 11 月平均).....	144
図 110	降水量の分布 (2009 年 11 月平均) .....	145
図 111	蒸発散量の分布 (2009 年 11 月平均).....	146
図 112	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2009 年 11 月平均) .....	147
図 113	全雲量分布の分布 (2009 年 12 月平均).....	148
図 114	時間別気象要因高度分布 (2009 年 12 月平均) .....	149
図 115	時間別気象要因高度分布 2 (2009 年 12 月平均) .....	150
図 116	低層雲分布図 (2009 年 12 月平均, 850 hPa).....	151
図 117	可降水量の分布図 (2009 年 12 月平均).....	152
図 118	可降水量の時間変化分布図 (2009 年 12 月平均).....	153
図 119	降水量の分布 (2009 年 12 月平均).....	154
図 120	蒸発散量の分布 (2009 年 12 月平均) .....	155
図 121	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2009 年 12 月平均).....	156
図 122	全雲量分布の分布 (2010 年 1 月平均).....	157
図 123	時間別気象要因高度分布 (2010 年 1 月平均).....	158
図 124	時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 1 月平均).....	159
図 125	低層雲の雲分布 (2010 年 1 月平均, 875 hPa).....	160
図 126	可降水量の分布図 (2010 年 1 月平均).....	161
図 127	可降水量の時間変化分布図 (2010 年 1 月平均) .....	162
図 128	降水量の分布 (2010 年 1 月平均).....	163
図 129	蒸発散量の分布 (2010 年 1 月平均) .....	164
図 130	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 1 月平均).....	165
図 131	全雲量分布の分布 (2010 年 2 月平均).....	166
図 132	時間別気象要因高度分布 (2010 年 2 月平均) .....	167
図 133	時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 2 月平均).....	168

図 134	低層雲の分布 (2010 年 2 月平均, 850 hPa) .....	169
図 135	可降水量の分布図 (2010 年 2 月平均).....	170
図 136	可降水量の時間変化分布図 (2010 年 2 月平均) .....	171
図 137	降水量の分布 (2010 年 2 月平均).....	172
図 138	蒸発散量の分布 (2010 年 2 月平均) .....	173
図 139	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 2 月平均).....	174
図 140	全雲量分布の分布 (2010 年 3 月平均).....	175
図 141	時間別気象要因高度分布 (2010 年 3 月平均).....	176
図 142	時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 3 月平均).....	177
図 143	低層雲の分布 (2010 年 3 月平均, 900 hPa).....	178
図 144	可降水量の分布図 (2010 年 3 月平均).....	179
図 145	可降水量の時間変化分布図 (2010 年 3 月平均) .....	180
図 146	降水量の分布 (2010 年 3 月平均).....	181
図 147	蒸発散量の分布 (2010 年 3 月平均) .....	182
図 148	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 3 月平均).....	183
図 149	全雲量分布の分布 (2010 年 4 月平均).....	184
図 150	時間別気象要因高度分布 (2010 年 4 月平均).....	185
図 151	時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 4 月平均).....	186
図 152	低層雲の分布図 (2010 年 4 月平均, 900 hPa) .....	187
図 153	可降水量の分布図 (2010 年 4 月平均).....	188
図 154	可降水量の時間変化分布図 (2010 年 4 月平均) .....	189
図 155	降水量の分布 (2010 年 4 月平均).....	190
図 156	蒸発散量の分布 (2010 年 4 月平均) .....	191
図 157	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 4 月平均).....	192
図 158	全雲量分布の分布 (2010 年 5 月平均).....	193
図 159	時間別気象要因高度分布 (2010 年 5 月平均).....	194
図 160	時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 5 月平均).....	195
図 161	低層雲分布 (2010 年 5 月平均, 900 hPa) .....	196
図 162	可降水量の分布図 (2010 年 5 月平均).....	197
図 163	可降水量の時間変化分布図 (2010 年 5 月平均) .....	198
図 164	降水量の分布 (2010 年 5 月平均).....	199
図 165	蒸発散量の分布 (2010 年 5 月平均) .....	200
図 166	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 5 月平均).....	201
図 167	全雲量分布の分布 (2010 年 6 月平均).....	202
図 168	時間別気象要因高度分布 (2010 年 6 月平均).....	203

図 169	時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 6 月平均)	204
図 170	可降水量の分布図 (2010 年 6 月平均)	205
図 171	可降水量の時間変化分布図 (2010 年 6 月平均)	206
図 172	降水量の分布 (2010 年 6 月平均)	207
図 173	蒸発散量の分布 (2010 年 6 月平均)	208
図 174	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 6 月平均)	209
図 175	全雲量分布の分布 (2010 年 7 月平均)	210
図 176	時間別気象要因高度分布 (2010 年 7 月平均)	211
図 177	時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 7 月平均)	212
図 178	可降水量の分布図 (2010 年 7 月平均)	213
図 179	可降水量の時間変化分布図 (2010 年 7 月平均)	214
図 180	降水量の分布 (2010 年 7 月平均)	215
図 181	蒸発散量の分布 (2010 年 7 月平均)	216
図 182	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 7 月平均)	217
図 183	全雲量分布の分布 (2010 年 8 月平均)	218
図 184	時間別気象要因高度分布 (2010 年 8 月平均)	219
図 185	時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 8 月平均)	220
図 186	可降水量の分布図 (2010 年 8 月平均)	221
図 187	可降水量の時間変化分布図 (2010 年 8 月平均)	222
図 188	降水量の分布 (2010 年 8 月平均)	223
図 189	蒸発散量の分布 (2010 年 8 月平均)	224
図 190	水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 8 月平均)	225
図 191	蒸発量と発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率の月変化	226
図 192	月別総雲量 (%)	228
図 193	季節別全雲量の分布	229
図 194	時間別気象要因高度分布 (季節別平均)	230
図 195	時間別気象要因高度分布 2 (季節別平均)	231
図 196	秋の地域別大気水収支 (2009 年 9 月から 11 月平均)	232
図 197	冬の地域別大気水収支 (2009 年 12 月から 2010 年 2 月平均)	233
図 198	春の地域別大気水収支 (2010 年 3 月から 5 月平均)	234
図 199	夏の地域別大気水収支 (2010 年 6 月から 8 月平均)	235
図 200	年間の大気水収支 (平均)	236
図 201	年間の大気水収支 (積算量)	237
図 202	全自動気象観測装置 (AWS) と大気水収支式による蒸発量の比較 1	238
図 203	全自動気象観測装置 (AWS) と大気水収支式による蒸発量の比較 2	239

図 204	大気水収支法で求めた蒸発積算量の月変化.....	240
図 205	大気水収支法で求めた蒸発量の分布 (2009年9月から2010年8月の積算量).....	241
図 206	大気水収支法で求めた蒸発量の分布 (2009年9月から2010年8月の積算量).....	242
図 207	地中海周辺の風系.....	243
図 208	高度別雲量 (%).....	244
図 209	高度別雲量 (%).....	245
図 210	高度別雲量 (%).....	246
図 211	高度別雲量 (%).....	247
図 212	下層雲の分布 (2009年10月22日).....	248
図 213	下層雲の分布 (2010年1月11日).....	249
図 214	下層雲の分布 (2010年5月18日).....	250
図 215	下層雲の分布 (2010年8月8日).....	251
図 216	下層雲の分布 (2009年9月平均).....	252
図 217	下層雲の分布 (2009年10月平均).....	253
図 218	下層雲の分布 (2009年11月平均).....	254
図 219	下層雲の分布 (2009年12月平均).....	255
図 220	下層雲の分布 (2010年1月平均).....	256
図 221	下層雲の分布 (2010年2月平均).....	257
図 222	下層雲の分布 (2010年3月平均).....	258
図 223	下層雲の分布 (2010年4月平均).....	259
図 224	下層雲の分布 (2010年5月平均).....	260
図 225	下層雲の分布 (2010年6月平均).....	261
図 226	下層雲の分布 (2010年7月平均).....	262
図 227	下層雲の分布 (2010年8月平均).....	263
図 228	秋の地域別大気水収支 (2009年9月から11月).....	264
図 229	冬の地域別大気水収支 (2009年9月から11月).....	265
図 230	春の地域別大気水収支 (2009年9月から11月).....	266
図 231	夏の地域別大気水収支 (2010年6月から8月).....	267
図 232	年平均地域別大気水収支.....	268
図 233	年間積算地域別大気水収支.....	269

# 1. はじめに

## 1.1 水蒸気輸送の研究

水蒸気は乱流や拡散によって水平方向・鉛直方向に移動し、あらゆる気象現象に影響を与える。水蒸気輸送を知ることは蒸発量・降水量の空間・時間分布を考える上でとても重要である（水文科学研究室，2009）。そのためあらゆる場所で水蒸気輸送ならびに大気水収支の研究がなされてきた。Oki *et al.* (1995) は European Centre of Midrange Weather Forecast (ECMWF) による再解析データを用いて全球規模の水蒸気フラックスを推定し、水蒸気輸送には大きな季節変化があることや、またインド洋から太平洋にかけて大きな収束地帯があることを解明した。また Oki *et al.* (1995) は低気圧が発生しやすい太平洋・大西洋の北端を除き、一般に水蒸気収束が大きいところは可降水量が多いことを示した。Trenberth and Guillemot (1998) は National Centres for Environmental Prediction (NCEP/NCAR) の再解析データを用いて大気水収支を計算し、様々な地上観測結果と比較して NCEP の降水量にバイアスが含まれることを明らかにした。より小規模の地域の研究としては、Brubaker *et al.*, (1994) がアメリカ大陸の水収支を計算し、水蒸気的主要供給源がメキシコ湾であり、一時的な乱流によって水蒸気が運ばれることを明らかにした。Mariotti and Struglia (2002) は地中海の水収支を調べ、地中海の降水と North Atlantic Oscillation (NAO) が強く関係していることを示した。

一方砂漠は普段は雨が降らないものの雨が降るときは一時的に多量の降水量を記録するという特徴的な降水パターンをもつため、砂漠上の水蒸気輸送は古くから研究対象となってきた。Star and Peixoto (1958) は地上観測データを用いた計算を行って 1950 年の北半球の砂漠の水収支に関する研究を行ったが、その結果砂漠では蒸発量が降水量を大きく上回り、その差は水蒸気の水平収束が補うことで収支が成り立つことを明らかにした。Yatagai and Yasunari (1997) はタクラマカン砂漠周辺の降水を引き起こす水蒸気が主に南から運ばれていることを明らかにした。

また水蒸気が収束すると雲が形成されることが知られている。木村ら (1997) は東京都世田谷区の環八雲を目視観測と衛星観測し、それを風の収束を照らし合わせて風が収束しているところに雲があることを示した。渡辺ら (1999) はタイにおける大気水収支と広域蒸発散量を計算し、水蒸気の収束と雲の集積が対応していることを明らかにした。大気水収支と雲形成は因果関係にあるといえる。

## 1.2 雲分布の研究

雲分布は放射に影響を与え、結果的に地域気候の形成に影響を与える。雲分布は大きく二つの手法により研究がされてきた。地上からの全天写真を撮影して解析する方法と、宇宙から衛星を使って写真を撮影し解析する方法である。前者は等射立体射影方式を用いた魚眼レンズを用いて全天を撮影し雲量を推定する方法が研究されてきた (Cazorla *et al.*, 2008; Kreuter *et al.*, 2009)。後者の例として山内 (1997) が NOAA 衛星の AVHRR データから南極の雲分布の特徴をつかむ研究を

行ったが、その結果海上では雲が一貫して多く大陸上の雲分布は低気圧擾乱の侵入に依存し冬は発達しやすく夏は発達しにくく、支配要因は気温変動、地上気圧の変動であることを明らかにした。

### 1.3 ナイルデルタについて

エジプト・ナイルデルタは典型的な乾燥気候下にあるが、南をサハラ砂漠、北を地中海に囲まれているため年平均降水量が地中海沿岸で約 200 mm (アレキサンドリア)、南部においては 2 mm (カイロ) とナイルデルタ内でも地域気候に差が見られる (Griffiths, 1972). またナイルデルタはエジプト全体の面積の 3%のみを占めているが (Shaltout *et al.*, 1996), エジプト全体の人口の半分弱がこのエリアに居住している (Egypt State Information Service, 2006). そのためエジプト全体の 50% の商業、40% の農業、60% の漁業とこの地域が国全体の経済を担っており、人間活動がさかんで様々な面においてエジプトの最重要地域といえる (Mikhailova, 2001). この地域はナイル川が運ぶ堆積物のために土壌がとても肥沃であり、ナイルデルタからは灌漑の効果で高い蒸発散量が記録されている (Mikhailova, 2001). エジプトは様々な気圧配置の影響を受けている地域と言え、季節により降水量、蒸発散量に大きく差が出る (Griffiths, 1972). この地域の蒸発散量と水蒸気輸送量はこのような地理的条件と人間活動により周りの砂漠地帯と比べて大きいものであり、これによりナイルデルタ上空には雲ができやすくなっている可能性がある。このような興味深い地域でありながらナイルデルタ上の大気水収支、雲分布に関する研究はなされてこなかった。

### 1.4 目的

本研究ではナイルデルタ上空および周辺地域の水蒸気の水平、鉛直輸送、収束状況を調べて広域の大気水収支をつかむ。またその大気水収支、上空の雲形成にナイルデルタからの蒸発と水平水蒸気発散量がどれだけ寄与しているかを評価する。

## 2. 研究方法

### 2.1 雲量データについて

本研究ではナイルデルタの雲分布の特徴をつかむべく高度別雲量データを用いた。雲量データは ECMWF が発表している Reanalysis Interim (Berrisford *et al.*, 2009) の Cloud Cover (データ: [http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim\\_daily/levtype=pl/](http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/levtype=pl/) 文献: Poli *et al.*, 2010) を使用した。Reanalysis Interim は ECMWF Re-Analysis 40 と呼ばれる再解析に衛星データを用いるなどの改良を試験的に加えたものである (Simmons *et al.*, 2006). これは the European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) が行っている Meteosat Second Generation というプロジェクトで打ち上げられた MeteoSAT 9 を始めとしおよそ 23 もの衛星から送られる気温などの高度別データを含んでいる。Cloud Cover は衛星で得られた気象データを Prognostic cloud scheme (Jakob, 1999) によって計算することで求められる。Cloud Cover は 1.5°

×1.5° グリッドのデータとして配信されている。

## 2.2 地上写真について

本研究では衛星データから算出されている雲量の妥当性を確かめるために地上写真との比較を行った。衛星データは Cloud Cover を算出するための気象データを送っている Meteosat 9 が配信している Cloud Analysis を用いて比較を行う。このプロダクトは ECMWF の再解析データと近赤外線、可視光によるテストを行って雲の有無を判別し 0.6° × 0.6° グリッドに対して雲量を%で 1 時間毎に出したものである。観測地点はエジプト・ナイルデルタ内に位置する Zankalon と Sakha の圃場である (図 1)。

Zankalon と Sakha はそれぞれ Water Management Research Centre, Rice Research Training Centre の圃場であり、それぞれ全自動観測装置 (Automatic Weather Station, AWS) がたてられている (<http://www.agbi.tsukuba.ac.jp/~wat/>)。Zankalon には 1 台、Sakha には 2 台設置されており、Sakha の 2 台はそれぞれを Sakha South, Sakha North とされている (図 3)。AWS で観測されている項目は表 1 にまとめた。本研究では AWS で観測される蒸発散量を使用するが、2.3 項で詳しく記述する。この観測タワー付近で全天に障害物が入らない場所を選び図 4 の様に設置した。観測期間は Zankalon で 2010/8/3~8/5, Sakha 南で 8/7~8/8, Sakha 北で 2010/8/9~8/10 とし、朝 7:00 から 19:00 まで 1 時間おきに写真撮影を行った。

撮影した全天画像は筑波大学に持ち帰り、画像解析ソフトである LIA32 (<http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/index.html>) を用いて雲と空の 2 種類に教師付き分類し、雲ピクセルを全ピクセルで除し 100 を乗じることで雲量 (%) をもとめた。太陽が写真に含まれていない場合はそのまま教師付き分類を行った (図 5)。しかし太陽が入ってしまった場合は太陽部分が雲に分類されてしまい雲量が過大評価されてしまう恐れがあるため、予め Photoshop 6.0 を用いて太陽部分を遮蔽して教師分類を行い、分類後に再び遮蔽部分を空ピクセルに戻した (図 6)。太陽部分を空ピクセルに戻したのは、太陽を含んでいる写真において太陽の周りに雲が存在する写真がほぼなかったからである。目視観測で雲量が 0 であった場合は分類を行っていない。

## 2.3 大気水収支法

雲量と大気水収支の対応を見るため、大気水収支式 (Oki *et al.*, 1995) を用いてナイルデルタの大気水収支を求めた。大気水収支法とは対象地域上に大気中を仮定し、 $x$  方向、 $y$  方向の風による水蒸気輸送、蒸発と降水の鉛直輸送からその地域の大気水収支を考える方法である。この方法は単純な式で広域の蒸発散量が推定でき、代入するデータによりどの時間系列・規模にも対応できるという利点がある (Oki *et al.*, 1995)。

静止座標系  $x, y, z$  は回転する地球に相対的な空気塊の運動を知るのには適していないため、地球中心からの距離  $r$ , 地理緯度  $\phi$ , 地理経度  $\lambda$  を使って座標変換を行う。今回は 2 次元を考慮するので  $x, y$  を座標変換すると

$$dx = r \cos \phi d\lambda \quad (1)$$

$$dy = r d\phi \quad (2)$$

$x$ における速さの  $u$ ,  $y$ における速さの  $v$ は式(1),(2)を使って以下のように表わされる.

$$u = \frac{dx}{dt} = r \cos \phi \frac{d\lambda}{dt} \quad (3)$$

$$v = \frac{dy}{dt} = r \frac{d\phi}{dt} \quad (4)$$

地理座標系上の回転速度は式 (3), (4)より

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{u}{r \cos \phi} \quad (5)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{v}{r} \quad (6)$$

今時間につれて空間を進む単位空気質量当たりの水蒸気質量である比湿  $q$ の時間変化を考える。連続体  $q$ の流れは  $x, y, z$ の3成分で構成されるため、以下のように表わされる。

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z} \quad (7)$$

式(7)において右辺の第2項と第3項をとりだすと、これが東西、南北の2次元における水蒸気の収束量

$$\nabla_H = \frac{\partial x}{\partial t} \cdot \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} \cdot \frac{\partial q}{\partial y} \quad (8)$$

となる。式(8)を地理座標系において表わすと

$$\nabla_H = \frac{\partial \lambda}{\partial t} \cdot \frac{\partial q}{\partial \lambda} + \frac{\partial \phi}{\partial t} \cdot \frac{\partial q}{\partial \phi} \quad (9)$$

これに回転速度を表す式(5), (6)を代入すると

$$\nabla_H = \frac{u}{r \cos \phi} \cdot \frac{\partial q}{\partial \lambda} + \frac{v}{r} \cdot \frac{\partial q}{\partial \phi} \quad (10)$$

ここで  $r$  を地球の半径を表す  $R_e$  におきかえると

$$\nabla_H = \frac{1}{R_e \cos \phi} \left( \frac{\partial qu}{\partial \lambda} + \frac{\partial qv \cos \phi}{\partial \phi} \right) \quad (11)$$

式 (11) で大気柱全体の水蒸気輸送を考えるため,  $qu$  と  $qv$  を鉛直積分すると

$$Q_\lambda \equiv \int_1^{P_s} qu \frac{dp}{g} \quad (12)$$

$$Q_\phi \equiv \int_1^{P_s} qv \frac{dp}{g} \quad (13)$$

式 (12), (13) を離散化して表現すると

$$Q_\lambda \equiv \frac{1}{g} \sum_{i=1}^{37} q_i u_i \delta p_i \quad (14)$$

$$Q_\phi \equiv \frac{1}{g} \sum_{i=1}^{37} q_i v_i \delta p_i \quad (15)$$

大気の厚み  $\delta p_i$  は以下で表わされる.

$$\delta p_i \begin{cases} 0.0 & p_i > p_s \\ \frac{p_i - p_{i+1}}{2} & p_i = p_s \\ \frac{p_{i-1} - p_{i+1}}{2} & p_i < p_s, 1 < i < 37 \\ \frac{p_{i+1} - p_i}{2} & i = 37 \end{cases} \quad (16)$$

ここで  $p_s$  は地表面気圧である。  $\bar{Q} = (Q_\lambda, Q_\phi)$  を使って式(11)を表すと

$$\nabla_H \cdot \bar{Q} = \frac{1}{R_e \cos \phi} \left( \frac{\partial Q_\lambda}{\partial \lambda} + \frac{\partial Q_\phi \cos \phi}{\partial \phi} \right) \quad (17)$$

式 (17)の右辺の( )内は  $Q_\lambda$  の緯度方向の変化量,  $Q_\phi$  の経度方向の変化量を表すので, 本研究では式 (17)を経度  $\lambda[i, j]$ , 緯度  $\phi[i, j]$  のグリッドでの値  $Q_\lambda[i, j]$ ,  $Q_\phi[i, j]$  を使って以下により計算した.

$$\nabla_H \cdot \bar{Q}[i, j] = \frac{Q_\lambda[i+1, j] - Q_\lambda[i-1, j]}{R_e \cos(\phi[j])(\lambda[i+1] - \lambda[i-1])} + \frac{\cos(\phi[j+1])Q_\phi[i, j+1] - \cos(\phi[j-1])Q_\phi[i, j-1]}{R_e \cos(\phi[j])(\phi[j+1] - \phi[j-1])} \quad \dots (18)$$

式(18)に式(14), (15)を代入すると以下のように表わされる.

$$\nabla_H \cdot \bar{Q} = \frac{\frac{1}{g} \sum_{k=1}^{37} q_k[i+1, j] u_k[i+1, j] \delta p_k - \frac{1}{g} \sum_{k=1}^{37} q_k[i-1, j] u_k[i-1, j] \delta p_k}{R_e \cos(\phi[i, j])(\lambda[i+1, j] - \lambda[i-1, j])} + \frac{\cos(\phi[j+1]) \frac{1}{g} \sum_{k=1}^{37} q_k[i, j+1] v_k[i, j+1] \delta p_k - \cos(\phi[j-1]) \frac{1}{g} \sum_{k=1}^{37} q_k[i, j-1] v_k[i, j-1] \delta p_k}{R_e \cos[\phi[i, j]](\phi[i, j+1] - \phi[i, j-1])} \quad \dots (19)$$

(19)の単位は  $[\text{s}^2 \text{m}^{-1}] [\text{kg kg}^{-1}] [\text{m s}^{-1}] [\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}] [\text{m}^{-1}] [\text{rad}^{-1}] = [\text{kg m}^{-2} \text{rad}^{-1} \text{s}^{-1}]$ . 半径  $R_e$  (m) で角度が  $\theta$  の扇形を考えると, 弧の長さ  $x$  は  $x = R_e \theta$  と表わされる. いま考えているグリッドは  $\theta$  ( $^\circ$ ) なので弧度法に直して  $\theta \pi / 180$  (rad). 弧の長さ  $x$  は地球の半径が約 6370 km であることから約  $353900\pi$  (m). これを用いると単位は  $[\text{kg m}^{-2} \text{rad}^{-1} \text{s}^{-1}] = [\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1} (\text{m}^{-1} \text{rad}^{-1})] = [\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}]$

これを水蒸気密度でわると  $[\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}] [\text{m}^{-3} \text{kg}^{-1}] = [\text{m s}^{-1}]$

可降水量、水蒸気フラックスの計算について大気中に単位面積を底とする鉛直な大気中をとり高さ  $z$  とそれよりすこし高い  $z+\Delta z$  との間にはさまれた直方体を考える。この直方体の体積は  $1 \times 1 \times \Delta z$  となり、任意の高度  $z$  (m) における空気塊の密度を  $\rho$ 、また重力加速度を  $g$  とすると重力による圧力は下向きに  $\rho g \Delta z$  となる。上の面に働く圧力は下向きに  $p+\Delta p$  であり、下の面にはたらく圧力は上向きに  $p$  なので力のつり合いより以下の式が成り立つ。

$$p + \Delta p + \rho g \Delta z = p \quad (20)$$

つまり

$$\Delta p = -\rho g \Delta z \quad (21)$$

これを変形すると

$$\rho \Delta z = -\frac{\Delta p}{g} \quad (22)$$

いま大気柱内の可降水量を求める。可降水量は水蒸気密度を  $z$  方向に積分したものであり、水蒸気の質量と単位質量の大気中に存在する水蒸気質量との比を表す比湿  $q$  に空気密度  $\rho$  をかけた  $q\rho$  が水蒸気密度を表わす。

$$W = \int_1^{\infty} \rho q dz \quad (23)$$

これを式 (22) を使って書きかえると

$$W = \frac{1}{g} \int_1^{P_s} q dp \quad (24)$$

同様にして水蒸気フラックスを求める式も導ける。

また上層と下層の収支の違いに注目して積分範囲を 1 hPa から 600 hPa、600 hPa から  $P_s$  として計算を行った。なお本研究では上層と下層の水蒸気輸送は  $10^{-6} \text{kg}/(\text{m s})$  と非常に小さいため無視した。

$$W = \frac{1}{g} \int_1^{600} q dp \quad (25)$$

$$W = \frac{1}{g} \int_{600}^{P_s} q dp \quad (26)$$

これらの値を用いて以下の式で蒸発散量の計算を行う。

$$E = \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla_H \cdot \bar{Q} + P \quad (27)$$

ここで  $E$  は蒸発散量,  $\frac{\partial W}{\partial t}$  は可降水量の時間変化,  $\nabla_H \cdot \bar{Q}$  は水蒸気発散量 (水平発散量),  $P$  は降水量を表す。計算上蒸発散量が負になることがあるが, 負になった場合は 0 として大気水収支の比較を行った。(ただし現地の蒸発散量観測と比べる時は 0 としていないものも比較に使用した.)  $\frac{\partial W}{\partial t}$

と  $\nabla_H \cdot \bar{Q}$  は湿度、風向、風速の再解析データを用いて評価する。再解析データとは「数値情報・データ同化サイクルのプログラムに 10 年以上の長期間に渡る過去の観測データを与えて、品質の一致した大気の循環場と陸面境界条件のデータセットを作成すること。」(JRA-25 実施グループ, 2001) である。再解析データは ECMWF Reanalysis Interim の 6 時間毎データ (0000, 0600, 1200, 1800 UTC) を使用する。これは 9 時間前からその時間の 3 時間後の値の平均値である (たとえば, 0000 UTC の場合は前日の 1500 UTC から該当日の 0300 UTC までの平均)。このデータでは全球  $1.5^\circ$  の格子上に 1000, 975, 950, 925, 900, 875, 850, 825, 800, 775, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 225, 200, 175, 150, 125, 100, 70, 50, 30, 20, 10, 7, 5, 3, 2, 1 hPa の鉛直全 37 層について値が与えられている。解析対象期間を 2009 年 9 月から 2010 年の 8 月の 12 ヶ月とし、それぞれの時間別平均水蒸気フラックスと水蒸気収束量を求める。

また降水量のデータは Tropical Rainfall Measurement Mission Project (TRMM) により配信されている 3 時間平均  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  降水量データを用いる。このデータは TRMM に搭載されている 5 つのセンサーの内降雨観測レーダ (PR), TRMM マイクロ波観測装置 (TMI), 可視赤外観測装置 (VIRS) の 3 つのセンサーを使用して降雨を測定し、Processing Processing System と呼ばれるシステムを通してデータ処理が行われたものである。(データ: <http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/presentNavigation.pl?project=TRMM&tree=project>, 文献: Simpson *et al.*, 1988)。このデータは大気水収支を計算する際 Golden Surfer 8.0

(<http://www.goldensoftware.com/products/surfer/surfer.shtml>)とよばれるソフトウェアを用いて Kriging 法によって  $1.5^\circ \times 1.5^\circ$  グリッドに変換した。

## 2.4 結果の比較

### 2.4.1 地域別物理量

計算で得られた結果を基に雲形成の考察をすすめるためナイルデルタにおける物理量を求める。ナイルデルタは  $1.5^\circ \times 1.5^\circ$  グリッドが 3 つ分構成されているため、それぞれのグリッドから海の物理量、砂漠の物理量に面積比率をかけたものをひき、出てきた値を平均するという方法でナイルデルタの物理量をもとめた (図 2)。面積比率は Generic Mapping Tool (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>) を使って出力したナイルデルタを含む  $1.5^\circ \times 1.5^\circ$  グリッド 3 つをそれぞれ LIA32 で海と陸、砂漠とナイルデルタに教師付き分類して求めた。結果  $31.5^\circ \text{ N}$ ,  $30^\circ \text{ E}$  (以下 *ND1*) では 70 %が海で 30%がナイルデルタ、 $31.5^\circ \text{ N}$ ,  $31.5^\circ \text{ E}$  (以下 *ND2*) では 57%が海で 43%がナイルデルタ、 $30^\circ \text{ N}$ ,  $31.5^\circ \text{ E}$  (以下 *ND3*) では 77%が砂漠でナイルデルタが 23%だった。これら 3 つのグリッドそれぞれからナイルデルタ全体の物理量を算出、求められたナイルデルタの値を平均してナイルデルタの物理量とした。

以下の式を用いてナイルデルタの物理量を計算した。

$$ND = \frac{\left(ND1 - Ocean \times \frac{7}{10}\right) \times \frac{10}{3} + \left(ND2 - Ocean \times \frac{57}{100}\right) \times \frac{100}{43} + \left(ND3 - Desert \times \frac{77}{100}\right) \times \frac{100}{23}}{3} \quad (28)$$

ここで *ND* はナイルデルタの物理量、*ND1* は  $31.5^\circ \text{ N}$ ,  $30^\circ \text{ E}$  の物理量、*Ocean* は海の物理量で、本研究では海を代表するグリッドとして  $33^\circ \text{ N}$ ,  $31.5^\circ \text{ E}$  を選んだ。*ND2* は  $31.5^\circ \text{ N}$ ,  $31.5^\circ \text{ E}$  の物理量、*ND3* は  $30^\circ \text{ N}$ ,  $31.5^\circ \text{ E}$  の物理量、*Desert* は砂漠の物理量で、本研究では砂漠を代表するグリッドを  $30^\circ \text{ N}$ ,  $30^\circ \text{ E}$  とした。

### 2.4.2 持ち上げ凝結高度

それぞれの事例において持ち上げ凝結高度を求めた。持ち上げ凝結高度は以下のヘニングの公式 (筑波大学水文科学教室, 2009) を用いて求めた。

$$z_c = 125(T_a - T_d) \quad (29)$$

ここで  $z_c$  は持ち上げ凝結高度 (m),  $T_a$  は地表面付近の気温 ( $^\circ\text{C}$ ),  $T_d$  は露点温度 ( $^\circ\text{C}$ ) を表す。本研究では ECMWF の Reanalysis Interim で発表されている 2m temperature, 2m dew point

temperature の値を代入して持ち上げ凝結高度を求めた。求めた  $z_c$  は以下の式 (<http://members.jcom.home.ne.jp/tetsuom/NOTE/NtPvsH/HdPvsH.htm>) を用いて m から hPa に変換した。

$$z_{c2} = 1013.25 \left( 1 - \left( \frac{0.0065 \times z_{c1}}{z_{c1} + 273.15} \right) \right)^{5.258} \quad (30)$$

ここで  $z_{c2}$  は持ち上げ凝結高度 (hPa),  $z_{c1}$  は持ち上げ凝結高度 (m) を表す。大気の気温減率は気温減率 6.5 K/km の多方大気と仮定する。

### 2.4.3 大気安定度

リチャードソン数

$$R_i = \frac{\frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z}}{\left[ \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right]} \quad (31)$$

を用いて大気の安定度を評価した(Chan, 2008)。ここで  $g$  は重力加速度(9.8 m/s<sup>2</sup>),  $\theta$  は温位 (K),  $z$  は高度 (m),  $U$  は東西方向の風速 (m/s),  $V$  は南北方向の風速 (m/s) を表す。本研究では  $R_i$  は 0.25 以下になると層流が乱流に変わり, 1.0 以上になると乱流が層流に変わる(Stull, 1988)。 $\theta$  は以下の式を使って求めた (筑波大学水文科学研究室, 2009)。

$$\theta = (273.15 + T) \left( \frac{p_s}{p} \right)^{\frac{R_d}{c_p}} \quad (32)$$

ここで  $T$  はある高度の気温 (°C),  $p_s$  は地表気圧 (本研究では 1000 hPa),  $p$  はある高度の気圧 (hPa),  $R_d$  は乾燥気体の気体定数 (287.04 J/(kg · K)),  $c_p$  は定圧比熱 (1005 J/(kg · K)) であり,  $\frac{R_d}{c_p}$

は 0.286 となる。

### 2.4.4 可降水量の時間変化に対する寄与率

月別平均では蒸発散量・水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与を調べるため、蒸発散量と可降水量の時間変化の相関係数、水蒸気発散量と可降水量の時間変化の相関係数を求めた。降水は本研究対象期間では秋・冬に少量見られた程度であったので可降水量の時間変化に対する寄与については無視する。

#### 2.4.5 大気水収支法で算出された蒸発散量と現地観測データの比較

大気水収支法で算出された蒸発散量を現地で行われている観測の蒸発散量データと比較する。現地の蒸発散量観測は地上写真を撮影した Sakha の RRTC 圃場に 2 台、Zankalon の WMRI 圃場に 1 台設置されている AWS にて 2010 年 6 月より行われている(図 3)。AWS で行われている観測は表 1 にまとめられている。本研究では得られたデータに主風向の水平方向、鉛直方向に対しての座標変換補正及び密度変動補正(福田, 2010)を行った。潜熱フラックスの算出は福田(2011 私信)を用いた。

潜熱フラックスから蒸発散量を求める。  $l$  は以下のように表わされるため(筑波大学水文学教室, 2009),  $lE$  を  $l$  で除して 3600 で乗ずることで蒸発散量 (mm/hour) とした。

$$l = 2.50025 \times 10^6 - 2.365 \times 10^3 (T + 273.15) \quad (33)$$

ここで  $T(^{\circ}\text{C})$  は AWS の高度 0.5 m の気温データを利用した。

また以上の結果は図化ソフト the Generic Mapping Tools (University of Hawaii, 1991) を用いて図化した。

### 3. 結果

#### 3.1 衛星データと地上雲量の比較

衛星データの日変化を表した地上雲量の日変化を表したグラフが図 7 である。この二つを比較すると、どちらでも 9:00 から 10:00 (エジプト夏時間) に雲量のピークが見られることがわかる。また衛星の方でより顕著であるが、15:00 から 16:00 にかけて雲量が増えていることがわかる。2 つの観測を比較した結果(図 8)、決定係数  $R^2$  は 0.4 であり相関は低かったが、これはこの 2 つの観測が観測対象としている範囲が衛星では 111 km 四方、地上観測は 4 km 四方と大きく違うことに起因すると考えられる。しかし二つの観測ではナイルデルタの雲の増減に関して似た傾向を示しているため、衛星を使うことは雲分布の特徴を把握する上では有効と言える。

#### 3.2 雲形成に関する事例研究

##### 3.2.1 秋の雲分布の事例 (2009 年 10 月 22 日)

ナイルデルタ周辺の秋の雲分布の典型例として 2009 年 10 月 11 日を取り上げる。この日の全雲量の分布を見ると (図 9), 深夜はナイルデルタ周辺全体を雲が覆っており, 特に砂漠上の雲量が 100%近くあった。しかし早朝になるとナイルデルタの北側を除き全域で雲が減った。午後から夜にかけては海上, ナイルデルタ上では雲が見られるが, 砂漠上には雲が現れなかった。

高度別に雲分布を比較すると (図 10), 深夜は 250 hPa 高度に砂漠上・ナイルデルタ上・海上で雲が少し見られるが他の時間には見られない。またどの時間にも 800 ~ 900 hPa 高度に雲が存在しており, 深夜から午後にかけて減ってゆき, 夜に増え始める様子がわかる。

気温や相対湿度と雲分布は 800 hPa より下にある下層雲に関してはよく対応している。気温はどの地域のどの時間帯も比較的似た高度分布を示している。全ての時間において 825 hPa 付近で海上の温度が砂漠・ナイルデルタより低く, 相対湿度が上昇して 100%近くに達し, 雲ができている様子がわかる。相対湿度分布はどの地域も 200 ~ 300 hPa と 800 ~ 900 hPa 高度で相対湿度が大きい。持ち上げ凝結高度 (表 2)はどの時間帯もナイルデルタ上でもっとも低く雲ができやすい状態にあった。全体としては 1200 UTC で持ち上げ凝結高度が最も高くなった。

比湿 (図 11)は 1000 hPa 高度において深夜から午後にかけてはナイルデルタが最も大きかった。また深夜・朝では砂漠の方が海に比べて大きいが昼になると逆転した。どの地域も午後になると比湿が非常に小さくなる。

風は砂漠上とナイルデルタ上で西風・北風が 200~300 hPa 高度で非常に強く吹いており, 海上と比べて常に強かった。この風は亜熱帯ジェット気流であると考えられる。1800 UTC のナイルデルタ上の 200~300 hPa 高度の雲分布, 相対湿度, 東西風, 南北風を比べるとこの特徴が顕著に現れている。ここでは相対湿度が 100 %に達しているにも関わらず雲が見られないが, この時東西風・南北風共にかなり強く吹いていることがわかる。

高層雲量のピークである 250 hPa と低層雲量のピークである 850 hPa の部分を切り出して地理的分布を見てみる。高層雲(図 12) は深夜に砂漠でとても多くなったがそれ以降は全く見られなかったのに対し低層雲(図 14)はどの時間帯にも海側で確認できる。高層の相対湿度分布 (図 13), 低層の相対湿度分布(図 15)と雲分布を比べると相対湿度が 100%になっているところに雲が存在しているのがわかる。低層の気温(図 16)を見ると, 低層では気温が低いところで相対湿度が 100 %になっており, 雲が形成されたことがわかる。大気の安定度(図 17, 図 18)は下層で不安定となっており大気が持ち上げられやすくなっている。1200 UTC では砂漠の大気がとても不安定となっているが, 水蒸気が十分になく雲ができないと考えられる。それ以外の時間は海上で不安定であった。大気が不安定となった結果, 低層では上昇流が発生していることがうかがえる(図 19, 図 20, 図 21)。特にナイルデルタでは砂漠・海よりも大きな上昇流が起きていた。

上昇気流によって持ち上げられ雲の成分になる水蒸気量の変化を大気水収支より比較する。可降水量(図 22)はどの時間帯でも東側が多く西側で少なかった。また海側やナイルデルタの方が多く砂漠側で少なかった。時間別にみると深夜に最も多く午後に最も少ない。可降水量の変化をみると(図 23), 深夜・午前中は砂漠・ナイルデルタで減少しているが午後・夜は増大している。これに

対し海上ではどの時間帯にも可降水量の変化はあまりみられなかった。

可降水量が増えると水蒸気が増えて雲ができやすくなるが、気温が高いと凝結がおこりにくく雲ができない。深夜・午前中では可降水量がもともと多く時間変化が少ない海側で雲ができる。午後・夜は砂漠・ナイルデルタ上に可降水量が増えても可降水量全体の量が少なく気温が海に比べて高いために雲の発生には至らない。

可降水量の変化は雲の形成に寄与していることがわかったのでこれを引き起こす要素をみていく。降水(図 24)は午後西側で発生していたが、他の時間ではどの地域にも見られなかった。

蒸発散量(図 25)は深夜・午前中では海側が多く、午後では東側が多かった。

水蒸気輸送(図 26)は午前中に最も多く午後が最も少なかった。また水蒸気輸送の方向は深夜が北西方向から流入しているのに対し、午前以降は北北西から流入している。水蒸気発散は可降水量の変化とよく一致している。深夜にナイルデルタ周辺が大きな発散場となっており、夜にかけて全体が収束場になっていった。高度別に大気水収支を計算すると、1 hPa から 600 hPa までの水蒸気輸送(図 27) は水蒸気の流入は地表面に比べると少なく、発散場となっていた。600 hPa から 1000 hPa までの水蒸気輸送(図 28) では大気柱全体の水蒸気輸送とほぼ同じ傾向を示したため、この日は 600 hPa 以下の水蒸気輸送が大気柱全体の水蒸気輸送に大きく寄与していることがわかる。

### 3.2.2 冬の雲形成の事例 (2010 年 1 月 11 日)

この日は1日を通して海側に雲が存在し、砂漠側では雲が少なかった。ナイルデルタでは午前中に雲が多かったが夜にかけて減っていった(図 29)。

高度別分布を見てみると(図 30)、この日はほぼ全ての雲は 100 hPa~300hPa 高度にできていた。砂漠では午前中に雲がたくさん見られたが夜になるにつれて雲が減った。ナイルデルタ上・海上では深夜から午後にかけて常に高層雲が見られたが、夜になる高層雲がかなり減って低層雲が増えた。気温はどの地域も午後にもっと高くなった。地域別にみるとナイルデルタが常に最も気温が高く、海が最も低かった。雲の分布と相対湿度は 10 月 22 日と同様にこの日も一致していた。低層では比較的相対湿度が高かったが、低層雲が発達したのは湿度が 90%以上あった 1800 UTC のみであった。持ち上げ凝結高度は 0600 UTC で砂漠、1200 UTC で海、その他の時間でナイルデルタが最も低かった(表 3)。

比湿は 0000 UTC から 1200 UTC では海が最も多かったが、1800 UTC ではナイルデルタが最も大きくなった(図 31)。また 0600 UTC ではナイルデルタの比湿が 975 hPa 付近でとても小さくなっていた。風は 100~200 hPa 高度においてどの時間帯にも強い北西風が吹いていたが、500~900 hPa では南西風が吹いていた。

高層雲と下層雲をそれぞれ切り出して分布をみる。高層雲はこの日は常に海上に存在しており、0600 UTC で特に海・ナイルデルタ上で多くなった(図 32)。砂漠上にはほぼ存在しない。それに対して下層雲はどの時間にもあまり見られなかった(図 34)。高層の相対湿度分布(図 33)、低層の相対湿度分布(図 35)とそれぞれの層の雲分布を比べると、相対湿度が 100%に達しているところに雲

が存在している。低層の気温を見てみると(図 36), 気温が低いところで相対湿度が 100%に達しているところが多かった。大気の安定度(図 37, 図 38)は 1200 UTC で砂漠上, 1800 UTC で海上の低層で不安定になるが, 一貫して 2009 年 10 月 22 日の事例に比べて安定であった。それぞれの地域での鉛直風速をみると(図 39, 図 40, 図 41), 砂漠・ナイルデルタでは上昇気流が発生しているが, 水蒸気量が少ないため雲形成に至らないと考えられる。

雲を形成する水蒸気の量に関係する可降水量はどの時間帯も砂漠と比べて海・ナイルデルタ側の方が多いが, 0600 UTC 以降はナイルデルタよりも海の方で可降水量が多くなる(図 42)。しかし全体として 10 月の事例と比べるととても小さくなっている。時間変化を見てみると 0000・0600 UTC では海・ナイルデルタ上で増えているが, 1200・1800 UTC では砂漠・ナイルデルタ上で増えている(図 43)。可降水量が増える, かつ気温が低いと凝結しやすくなり雲ができやすくなるが, この日はそもそもの水蒸気量がとても少なくその地域でも相対湿度が 100%に達しなかったため凝結に至らなかったと考えられる。

可降水量の変化を及ぼす要因をそれぞれみていく。この日はどの時間帯も降水がみられなかった(図 44)。蒸発散はどの時間帯でも海上で少量みられ, ナイルデルタでは 1200・1800 UTC でみられた(図 45)。水蒸気水平輸送は時間によって輸送量・輸送方向共に変化した(図 46)。0000 UTC では全体的に西側から水蒸気が吹き込み, 北東に流れていった。海上の方が陸に比べて輸送量が大きかった。全地域で発散場となっている。0600 UTC では北西方向から水蒸気が流入して北東に流れており, 海上の方が陸上に比べて輸送量が多い。ナイルデルタ上で輸送方向が変わり, 収束場となっていた。1200 UTC では北西から水蒸気が流れ込み, 東に抜けて行く様子がみられた。方向はナイルデルタ上で変化しており, 収束場となっている。1800 UTC では北西から水蒸気が吹き込み南東方向に抜けている。海上では発散場となっているがナイルデルタの南側および砂漠では収束場となっていた。高層と下層で水蒸気輸送を見てみると, 高層では西から東に少量の水蒸気が輸送されており, 0000・0600 UTC では全域で発散場, 1200・1800 UTC では砂漠において収束場となりその他は発散場となっていた(図 47)。また高層雲の分布と比較すると, 水蒸気が収束しているところで雲が存在している。下層の水蒸気輸送は大気柱全体の水蒸気輸送と量・輸送方向共にほぼ一致しており, 大気柱全体において 600~700 hPa の水蒸気輸送が大きく寄与していることがわかる(図 48)。

### 3.2.3 春の雲形成の事例 (2010 年 5 月 18 日)

春の雲形成の一例として 2010 年 5 月 18 日を取りあげる。この日は全体として海にかなり多くの雲があり, 次いでナイルデルタ, 砂漠の順に雲量が減っていった(図 49)。全体としては 0600 UTC で最も雲量が多く, それ以降は雲が減って 1800 UTC には少なくなる。ナイルデルタの南側では 1800 UTC に雲が増え, 砂漠では 1200 UTC に雲が増えてその後なくなった。

高度別に雲分布をみると(図 50), 0000 UTC ではどの地域にも 200~300 hPa 高度で多量の高雲

が見られた。しかし0600 UTCになると高層雲は減り、代わりに900 hPa以下で下層雲が発達していた。特にナイルデルタでは多量に発達している。1200 UTCでは400~500 hPa高度でナイルデルタで雲ができていたが、高層雲はほぼ消えていた。海・ナイルデルタ上では下層雲が見られる。1800 UTCになると200~300 hPaでナイルデルタ上に雲が発達していた。海・ナイルデルタ上では下層雲が見られた。気温分布をみると、0000・0600 UTCでは1000 hPa付近ではほぼ気温差がないものの800~900 hPa高度でナイルデルタ上の気温が最も高くなり、ついで砂漠、海上となった。地域間・高度間の気温差は相対湿度によく表れており、相対湿度が100%近くに達したところでは雲ができていた様子が見られる。比湿をみるとこの日は1000 hPa付近ではナイルデルタで最も高かったが、0600 UTC以降ナイルデルタ上では900 hPa付近で水蒸気が大きく減るといった特徴が見られた(図 51)。風は200~300 hPaにおいてその地域でも北西風が見られた。また1000 hPa付近では特に1200 UTCで砂漠・ナイルデルタ上では北風が卓越していた。

高層雲と下層雲の違いに注目してそれぞれ切り出す。高層雲は0000 UTCで海上に多く見られるが、0600 UTC以降はどんどん減っていた(図 52)。砂漠上では1200 UTCで20~30%ほどの高層雲が見られるが、その他の時間ではみられなかった。ナイルデルタ上では北側は海上と同じ雲量変化を示したが、南側は常に15~25%の雲量があった。低層では0600 UTCにナイルデルタ・海上に雲が見られ、1200 UTCに減り始めて1800 UTCに消えた(図 54)。それぞれ高層の相対湿度分布(図 53)、低層の相対湿度(図 55)と比較すると、相対湿度が100%に達しているところに雲が存在している。温度分布(図 56)と比べると気温が低いところで相対湿度が100%に達し雲が形成されているといえる。大気の安定度(図 57, 図 58)は時間変化が大きく、0000 UTCでは海、0600 UTCではナイルデルタ、1200 UTCでは砂漠、ナイルデルタの低層で不安定となっており、ナイルデルタの雲量は大気の安定度と一致している。鉛直風速の図を見ると(図 59, 図 60, 図 61)、大気が不安定になった結果上昇気流が生じて空気が持ち上げられ、持ち上げ凝結高度に達し低層雲が発達したと考えられる。

雲を構成する水蒸気の量に関する可降水量の分布を見てみると、この日はナイルデルタで常に可降水量が多かった(図 62)。可降水量の時間変化を見てみるとナイルデルタおよび海上ではどの時間も減少していた(図 63)。この日も気温が低く可降水量が多い場所で雲ができていたが、午後になると気温が高くなると水蒸気が凝結しにくくなり、雲ができにくかった。

可降水量の変化を引き起こす大気水収支を詳しく見る。この日に降水はおきなかった(図 64)。蒸発散はナイルデルタ・海上で0600 UTC以降に多量起きていたが、この日は砂漠上でも蒸発散が起きていた(図 65)。水蒸気の水平輸送は輸送量がかなり大きく、1200 UTCまでは西から水蒸気が流入して北東に抜けて行ったが、1800 UTCでは北西から流入して東に抜けて行った(図 66)。全体として発散場であったが、0000・0600 UTCではナイルデルタ上では収束していた。この水蒸気輸送を高層と低層で分けると、高層でも多くの水蒸気が輸送されていた(図 67)。どの時間も南西から北東に向かって水蒸気が輸送されており、全体として発散場となっていた。低層では大気柱全体と同じほぼ水蒸気輸送が見られた(図 68)。

### 3.2.4 夏の雲形成の事例 (2010年8月8日)

この日は0000 UTCで西側および海上で雲が多かったが、0600 UTCではナイルデルタ上に雲が多くなる(図 69)。ナイルデルタ上の雲は1200 UTCで一度減るが、1800 UTCで再び増える。高度別に雲分布をみると(図 70)、900~1000 hPaでの下層雲しか見られなかった。ナイルデルタでは0600 UTCでかなり多くの下層雲が見られたが、1800 UTCに向かうにつれて消えた。海上ではどの時間にも下層雲が見られた。気温の分布を見てみると、1200 UTCでは1000 hPa付近で海上とナイルデルタ・砂漠との間に10°C近くに気温差が見られる。このためナイルデルタ・砂漠では相対湿度が100%になりにくく海上では100%に達して雲ができやすくなっている。持ち上げ凝結高度(表 5)を見ると0000・0600 UTCでは砂漠・ナイルデルタ上で最も低くなっているが、1200 UTC以降は砂漠・ナイルデルタの持ち上げ凝結高度は海に比べてかなり高くなっており、水蒸気量が少なく凝結しにくい状況を表している。風をみてみると(図 71)、200~300 hPaにおける東西成分が5月に比べて更に弱まっている。南北成分をみるとナイルデルタでは中層の南風が強まっているが、1200・1800 UTCの1000 hPa高度での風は北風が卓越しており、夏の風系と一致する。

低層雲(図 72)と相対湿度の分布(図 73)を比較すると相対湿度が100%近くである地域で雲が存在している。更に気温の分布(図 74)をみると気温が低いところで相対湿度が100%近くに達し水蒸気が凝結しやすくなっている。大気の安定度を見ると(図 75, 図 76)、0000 UTCでは海、0600 UTCではナイルデルタ、1200 UTCでは砂漠、1800 UTCでは再び海の低層で大気が不安定になる。結果として鉛直風速(図 77, 図 78, 図 79)に表わされるように上昇気流が発生し空気が持ち上げられ、持ち上げ凝結高度に達して雲が形成されると考えられる。

雲形成に関わる水蒸気量に関係する可降水量を見てみると、1日を通して東側に多いが、1200 UTC以降はナイルデルタで増える(図 80)。可降水量の時間変化は砂漠側では0000・0600 UTCには減るが1200 UTC以降は増えたが、これは海と逆の変化であった(図 81)。ナイルデルタでは0600・1200 UTCで可降水量が増えたが、その他の時間では減った。朝は地域間の気温差が少ないため可降水量が増えたところで雲ができやすいが、昼以降は地域間の気温差が大きいため気温が低く可降水量が多いところで雲ができやすかった。

可降水量の時間変化を引き起こす大気水収支をそれぞれ見ていく。この日は降水が見られなかった(図 82)。蒸発散量は海・ナイルデルタ上で1200・1800 UTCで見られた(図 83)。水蒸気の水平輸送はこの日は時間によって大きく変化した(図 84)。0000 UTCにおいて海上では北西から南東に、陸上で南にむかって水蒸気が輸送されていた。0600 UTCでは海上で北西から南東に向かって水蒸気が輸送されていたが、陸上ではナイルデルタ上で西、ナイルデルタの西では南、ナイルデルタの東では北と複雑な水蒸気輸送が起こっていた。一方ナイルデルタ上では収束場になっており、雲ができやすくなっていたと考えられる。1200 UTCには輸送量が多くなり、海上では発散場となる。陸上ではナイルデルタの西およびナイルデルタ上では南東に向かって水蒸気が輸送されており、ナイルデルタの南側は収束場となっていた。1800 UTCになると更に輸送量が増え、海上では北西

から南東に、陸上では北から南に水蒸気が輸送された。この水蒸気輸送を高層と低層に分けると、高層ではほぼ水蒸気の輸送がないことがわかる(図 85)。低層の水蒸気輸送は大気柱全体の水蒸気輸送と方向・量ともにほぼ一致していた(図 86)。

### 3.3 雲分布と大気水収支の日変化(月平均による考察)

3.2 ではそれぞれの季節からある 1 日の事例を検証したが、月別に一般化して雲分布と大気水収支の特徴を明らかにする。

#### 3.3.1 2009 年 9 月

9 月はほとんど雲が見られないが、ごく少量海上で 0000・0600 UTC に現れる(図 87)。高度別にみると(図 88)、高層雲は見られず下層雲ができています。ナイルデルタでは 0600 UTC に雲が少し現れて午後になくなる。気温は 1200 UTC に海上と砂漠・ナイルデルタ上で大きく気温差があることが特徴であり、この気温差が海上と砂漠・ナイルデルタ上での相対湿度・比湿の差異の要因の 1 つになっていることがわかる。この水蒸気量の差異は持ち上げ凝結高度(表 6)にはっきりと表れており、1200 UTC の砂漠・ナイルデルタの値は海のそれより高く雲ができる高度が高く凝結の起こりにくさを示している。風は 100 hPa 付近でやや南に偏った偏西風が吹いており、低層では北風が卓越している(図 89)。ナイルデルタ・砂漠上では 1200 UTC・1800 UTC において低層で北風が吹いているのに対し、海上では西・北西の風が卓越している。

可降水量はどの時間帯でも海側で 22 mm 以上あるのに対し砂漠上では 16~20 mm にすぎない(図 90)。ナイルデルタは深夜から午前中にかけては砂漠と海の間程の可降水量であるが昼は海と同じくらいである。これを可降水量の時間変化で見ると、0000 UTC や 0600 UTC では砂漠・ナイルデルタ側で可降水量が減り、海側で増えているが、1200 UTC でこの関係は逆転して砂漠で可降水量が増えて海では変化しないもしくは減る(図 91)。夜になると 1200 UTC の傾向が強まった。気温の図(図 88)より深夜・早朝では海上・砂漠で気温差がほぼないが午後になると気温差が顕著になることがわかるので、朝は気温が低く可降水量が増える海側で雲ができるが、午後になって砂漠側で可降水量が増えても気温が高いため持ち上げ凝結高度が下がらず雲ができにくいと考えられる。

可降水量の変化に起因する要因についてみていく。降水はどの地域でもほぼ見られない(図 92)。蒸発量を見ると海・ナイルデルタ上では 1200 UTC で最も蒸発量が多くなる(図 93)。蒸発量の可降水量への寄与率(表 7)をみると、海・砂漠では 1 割程度であるのに対し、ナイルデルタでは 1200・1800 UTC において 3 割を占め、ナイルデルタの蒸発量が雲形成に影響を与えていることが分かる。水蒸気輸送を見てみると水蒸気輸送は北西から陸に流入する形で起こっている(図 94)。0000 UTC では砂漠側が発散場となっているのに対し、1200 UTC では海側が発散場となり砂漠側では収束場となっている。ナイルデルタでは 0600・1200 UTC で収束場となっている。可降水量への寄与率(表 8)をみてみると海・砂漠では 1 日を通して 7~9 割程度の大きな寄与が見られるがナ

イルデルタでは 0000 UTC を除き 4~5 割程度にすぎなかった。これより大気中への水蒸気変化の寄与は砂漠・海上では水平方向の水蒸気輸送， ナイルデルタでは深夜・朝が水平水蒸気輸送， 昼以降は蒸発が影響していることが言える。

### 3.3.2 2009 年 10 月

10 月は 9 月と比べて雲が増え， 砂漠・ナイルデルタ上・海上全体に広がっている(図 95)。高度別にみると 200 hPa~300 hPa に雲があり， 下層雲も 9 月と比べて少し増えているが少し高度が高くなっている(図 96)。気温は 9 月と同じで， 1000 hPa で昼に砂漠・ナイルデルタ上と海上で顕著な気温差が見られ， 相対湿度， 比湿で見られる水蒸気量の差異に影響している。持ち上げ凝結高度(表 9)は砂漠・ナイルデルタでは 1800 UTC を除き 9 月と比べ約 20 hPa ほどの高度の上昇が見られたが， 海上， 砂漠・ナイルデルタ上の 1800 UTC ではほぼ 9 月と変わらなかった。風を見ると 200~300 hPa の風が 9 月よりも強まっており， 風向が北西から南西へと変わっている(図 97)。どの時間帯でもナイルデルタが最も強く， 次いで砂漠・海となった。また 1000 hPa 付近ではどの地域でも北風が卓越していた。高層雲と風の高さが対応しており， この高層雲はジェット気流によって運ばれてきた雲だと考えられる。

そこで下層雲のみを切り出して分布をみると， 少量ではあるが 0000・0600UTC で海・ナイルデルタ側に雲があり， それ以降は雲が消えてしまっていた(図 98)。可降水量をしてみると 9 月に比べ全体として 2 mm 程度減っている(図 99)。海上の方が砂漠に比べて可降水量が多いという関係は変わらず， ナイルデルタではどの時間も海と同じくらいの可降水量を示した。可降水量の分布をみると下層雲の分布と対応している(図 100)。9 月と同じように 0000 UTC・0600 UTC で砂漠・ナイルデルタ側で減り海上で増えるが， 1200 UTC で砂漠・ナイルデルタ側では可降水量が増え， 1800 UTC ではどの地域でも可降水量が減る。これより下層雲の形成は量には差があるものの 9 月と同じようなプロセスがはたらいっていると考えられる。

可降水量の変化を引き起こす要因についてみていく。降水は西側では見られたがナイルデルタ上・海上・砂漠上ではほぼ見られない(図 101)。蒸発量は海・ナイルデルタ上では 0600 UTC で一旦減るものの 1 日を通して 0.1~0.2 mm/hour 程度の蒸発があるが， 砂漠ではほぼ見られなかった(図 102)。可降水量の時間変化に対する寄与率(表 10)は， 海では朝~昼に 3 割， 砂漠では 0600 UTC に 5 割弱の寄与があるが別の時間は 1 割~2 割程度であった。ナイルデルタでは 9 月の 3 割という値ほど大きな寄与は 1200 UTC のみで残りの時間では 1 割前後の寄与しか見られなかった。水蒸気の水平輸送は 9 月と比べてかなり減少し， 輸送方向も北西から西向きに変わっている(図 103)。0000 UTC では全体として発散場となっており， 海上では西から東に輸送されているのに対しナイルデルタ上ではやや北東から流入している。0600 UTC ではナイルデルタ上で輸送方向が南西から北東に向けて吹く風が変わっており， 収束場となっている。1200 UTC では西から東の風に戻り， ナイルデルタ・砂漠上で収束場となっている。1800 UTC では輸送方向は海上で西から東， ナイルデルタ上で北西から南東に向かって吹く風になり， 全体として発散場になっていた。寄与率(表

11)をみるとどの地域も 6~8 割程度の寄与が見られる。ナイルデルタ上では水蒸気輸送の寄与が 9 月に比べて増えているが、1200 UTC では依然として蒸発の寄与が大きい。

10 月 22 日の事例との関連について、0000 UTC については一般化されたものとは異なったが、他の時間に関しては雲量や大気水収支量は違うが分布は一致していた。

### 3.3.3 2009 年 11 月

雲の分布は 10 月と比べて海・ナイルデルタ上で増えている (図 104)。高度別に見てみると 200~300 hPa に雲が見られ、下層雲の割合が 10 月と比べて増えていた (図 105)。気温は 10 月と比べて全体的に下がっており、9・10 月では 1200 UTC において地域間で気温差が見られたが 11 月ではそれほど大きな差が見られない (図 105)。水蒸気量を表す相対湿度はどの地域も似た高度分布を示し (図 105)、比湿は 10 月と同じく砂漠では乾燥しているがナイルデルタと海上は同じくらいであった (図 106)。持ち上げ凝結高度 (表 12) は 10 月とほぼかわらなかった。風を見てみると 10 月に比べて 200~300 hPa の北西風が強まっており、ジェット気流の強さと雲量が対応している (図 106)。1000 hPa 付近ではどの時間帯も砂漠・ナイルデルタ上で北風が卓越している。

下層雲に注目して切り出して分布を見てみると、海上に雲が多く砂漠で少ないことが明らかである (図 107)。ナイルデルタは 0000・0600 UTC では雲が見られ午後には消える。これは可降水量の分布 (図 108) と一致している。可降水量の時間変化は 10 月と比べて全体としてほぼ変化がない (図 109)。11 月は地域間で気温差が少ないため、可降水量の変化よりも可降水量の分布そのものが雲形成に影響していると考えられる。

大気水収支をみていく。降水量は 0000 UTC, 1200 UTC でナイルデルタで増えており、砂漠・海でも増えた (図 110)。蒸発量はそれに対応して全体的に 10 月よりも増えていた。特に 1200 UTC での蒸発量がどの地域でもとても多かった (図 111)。寄与率 (表 13) はどの地域も 1 割~3 割程度であり、ナイルデルタでの蒸発の寄与が減っているのが特徴である。水蒸気水平輸送はどの時間帯でも北西から南東に向けてなされているが量は 10 月とあまり変わらない (図 112)。海上では常に発散場であり、ナイルデルタは 1200 UTC で小さな収束場となっているが他の時間は発散場となっていた。寄与率 (表 14) はどの地域でも 6 割~8 割ととても高く、水蒸気水平輸送量が時間によってあまり変化しなかったために可降水量の時間変化が小さかったものと考えられる。

### 3.3.4 2009 年 12 月

雲の分布は 11 月と変わらず海上で多く次いでナイルデルタ、砂漠となるが、雲の量自体は増えている (図 113)。高度別に見てみるとどの時間帯のどの層にも海上には雲が多い。ナイルデルタと砂漠では高層雲と下層雲が見られた (図 114)。1000 hPa 付近の気温差はあまりみられない (図 114)。相対湿度 (図 114)・比湿 (図 115) はどの時間帯でも海上が他の地域に比べて大きかった。持ち上げ凝結高度 (表 16) は 11 月と比べてどの地域も 10~20hPa 程度高くなっていた。風は 100~300 hPa で北西風が強く吹いており、ジェット気流によって高層雲が流されてきたことを示唆し

ている (図 115). 1000 hPa 付近では 11 月とは全く違い海上で南風が吹いていた.

下層雲を切り出して分布をみると, 海上が最も雲量が多く次いでナイルデルタ, 砂漠となった (図 116). これは可降水量の分布 (図 117) とよく一致している. また 11 月と同じ様に可降水量の時間変化はほぼなかった (図 118). 12 月は 11 月と同じように可降水量そのものが雲形成に影響していると考えられる.

大気水収支を見ていくと, 降水が東側の海上で見られ (図 119), 蒸発散量の分布 (図 120) と対応している. ナイルデルタ, 海では蒸発散量が 1200 UTC に向かって増えて 1800 UTC に減る. 寄与 (表 16) は 11 月と比べてとても小さい. ナイルデルタでは 0000 UTC と 1800 UTC で 2~3 割の寄与が見られた. 水蒸気水平輸送は 11 月と比べて増えており, 輸送方向は西から東に変わっている (図 121). 陸の水平輸送は少し北に偏っている. どの地域も深夜・朝は発散場, 昼以降は収束場となっている. 寄与 (表 17) はどの地域も 6 割~9 割であり, 11 月と同じで水平輸送の時間変化の少なさが可降水量の時間変化の少なさに影響していると考えられる.

### 3.3.5 2010 年 1 月

雲の分布は 12 月と同じように海上で多く次いでナイルデルタ, 砂漠となる (図 122). 0600 UTC ではナイルデルタ上で雲量が増える. 高度別にみると雲の範囲が多層に広がっているが, どの地域も 200~500 hPa の高層雲, 800~950 hPa の低層雲が見られる (図 123). 1000 hPa 付近では 1200, 1800 UTC で海上とナイルデルタ・砂漠とで 5 °C ほど気温差があり, この気温差が, 相対湿度と比湿 (図 124) に影響している. 持ち上げ凝結高度 (表 18) は 12 月とほぼ変わらない. 風は 100~300 hPa 高度で南西風が 50 m/s と非常に強く吹いていた (図 124). 1800 UTC になると南北風はおさまる. 1000 hPa 付近ではナイルデルタ・砂漠で北風が卓越しており, 特に 1200 UTC になるとナイルデルタでは強めの風が吹いている.

下層雲に注目して切り出すと (図 125), 11・12 月と同じように海上で雲が多く次いでナイルデルタ, 砂漠となる. これは可降水量の分布 (図 126) と一致している. 可降水量の時間変化はほとんどなく (図 127), 気温差が比較的少ない 1 月では可降水量が雲形成に影響している.

大気水収支をみていくと, 降水が西側で見られる (図 128). 蒸発散量は海・ナイルデルタで見られ, 1200 UTC にピークをむかえる (図 129). 可降水量の変化への寄与 (表 19) はどの地域も 12 月に比べかなり小さいが, ナイルデルタでは 1200 UTC で大きな寄与が見られる. 水蒸気水平輸送について量は 12 月とあまり変わらないが輸送方向が変わり, 水蒸気が南西から北東に輸送されている (図 130). ナイルデルタは 0600 UTC で小さな収束場となっているが, あとの時間は全て発散場となっている. 寄与 (表 20) は全体として 5~9 割となっていた.

1 月 11 日の事例との関連は, 雲量・大気水収支量は平均化されたものと量は違うものの分布は一致していた.

### 3.3.6 2010 年 2 月

雲分布は1月に比べて全体的に10%ほど増えている(図 131)。雲量は他の月と同じように海上で多く次いでナイルデルタ、砂漠となる。高度別にみるとどの地域でも大きく200~400 hPaと800~900 hPa高度に雲が見られた(図 132)。海上では常に高層雲が見られた。気温は1200 UTCにおいて1000 hPa地点で海と砂漠・ナイルデルタで5℃程度の差が見られ、相対湿度、湿度、比湿(図 133)に影響している。持ち上げ凝結高度(表 21)は1月に比べて砂漠、ナイルデルタで上がったが、海ではほぼ変わらなかった。風は100~300 hPa高度において0000 UTCにナイルデルタ上では強い南西風が吹いていたが、他の時間は西風が吹いており、風を流してきたと考えられる(図 134)。

下層雲に注目して切り出すと海上、西側で特に雲が多く、次いでナイルデルタ、砂漠となった(図 135)。これも可降水量の分布(図 136)とよく一致している。可降水量の変化は1800 UTCにナイルデルタ上で減る傾向が見られるが他の時間はナイルデルタ、砂漠、海上は微小な発散場となっている(図 136)。気温差が少ないのでここでも可降水量の分布が雲形成に影響を与えている。

大気水収支に注目する。降水量は西側で見られるが砂漠、ナイルデルタ上では見られない(図 137)。蒸発散は0000 UTCでは西側と海上、0600 UTCでは少量の蒸発が各地域で起きているが、1200 UTCになるとほぼ全域で多量の蒸発が起きて1800 UTCにまた減る(図 138)。しかし蒸発量の可降水量の時間変化への寄与(表 22)はとても少なく、各地で1割から2割程度に過ぎなかった。別の月では蒸発散量の寄与が大きかったナイルデルタでも1割程度であった。水蒸気の水平輸送は1月よりも増えており、輸送方向は西から東である(図 139)。ナイルデルタでは朝は微小な収束場となっているがその他の時間は発散場となっている。寄与率(表 23)は6割から8割であり、可降水量の変化を支配しているのは水蒸気輸送と考えられる。

### 3.3.7 2010年3月

雲分布は2月と比べてどの地域も減るが、海上に多く次いでナイルデルタ、砂漠に雲が多い傾向は変わらない(図 140)。高度別にみると(図 141)、2月に多層にわたっていた雲分布は200~300 hPaと800~950 hPaの2層に集中して雲がある状態になっている。気温は1000 hPa時点で1200 UTCに海とナイルデルタ・砂漠で10℃ほど気温差があり、相対湿度と比湿(図 142)に影響を与えている。持ち上げ凝結高度(表 24)は全体的に2月と比べて高度が下がるが、1800 UTCではどの地域でも200 hPaほど高度が上がっている。風は100 hPa~300 hPaで西風が卓越しており、風の南北成分が弱まっている。1000 hPa付近ではナイルデルタで北風が卓越しており、1200 UTCで最も風が強くなる。

下層雲のみを切り出してみると(図 143)、海上で多く次いでナイルデルタ、砂漠の順に雲量が多く、0600 UTCで最も雲量が多かった。可降水量の分布(図 144)とほぼ一致しているが、3月から可降水量の変化の日変化が大きくなっている(図 145)。0000 UTCでは海上で可降水量が増えて砂漠側では減っているが、0600 UTCではナイルデルタでも可降水量が増えている。しかし1200 UTCになると砂漠・ナイルデルタ側で可降水量が増え、1800 UTCになると東側で可降水量が減る。午

前中はどの地域も 20°C以下であるため可降水量が増加した地域で雲ができやすい。しかし午後になると砂漠・ナイルデルタは 20°Cを超えているため可降水量が増加しても持ち上げ凝結高度が上がり、凝結しにくいと考えられる。

可降水量の変化を引き起こす要因をみていく。降水はほぼ見られなかった(図 146)。蒸発散量(図 147)は海上ではどの時間でも 0.2 mm/hour の蒸発散が起こっており、ナイルデルタでは 1200 UTC に多量の蒸発散が起こっている。しかし 1800 UTC になると蒸発はどの地域でもごく少量になる。可降水量の時間変化への寄与(表 25)はどの地域も 0~2 割程度であり、ナイルデルタでもとても少ない。水蒸気輸送(図 148)は 2 月と比べて少なくなる。海上の方が陸と比べて輸送量が多い。輸送方向は海上では西から東であるが、陸上ではやや北西から吹き込む。寄与率(表 26)は 5 割から 7 割で可降水量の時間変化を支配している。1800 UTC の可降水量の全体的な現象は、全域が発散場になっているのに対して蒸発散がとても少なかったためだと考えられる。

### 3.3.8 2010 年 4 月

雲量(図 149)は全体に時間変化があまりみられなかった。雲量は海側に多く次いでナイルデルタ、砂漠に多いことは他の月と同じである。高度別にみると(図 150)、3 月よりも 900~1000 hPa の下層雲が増えている。気温差は 1200 UTC で 1000 hPa において海とナイルデルタ・砂漠で 10°Cほど差があり、相対湿度と比湿(図 151)に影響している。持ち上げ凝結高度(表 27)は 3 月と比べて海とナイルデルタでは下がっているが、砂漠ではどの時間帯でも高度が上がっている。風は 100~200 hPa 高度で西風が卓越しているが、時間帯によって北西風と南西風になる。1000 hPa 付近ではナイルデルタ、砂漠で北風が卓越していた(図 151)。

下層雲を取り出して見てみると(図 152)、海側では可降水量(図 153)と雲の分布があまり一致していないが、これは地域間・日中の気温差と可降水量の時間変化によるものである。可降水量の時間変化(図 154)は 3 月に比べより大きくなっており、0000・0600 UTC では砂漠側で可降水量が減り海側で増えるものの、1200・1800 UTC では砂漠側で可降水量が増えて海側で減る。午前中は地域間の気温差があまりないため可降水量が増える海側で雲ができるが、午後は砂漠・ナイルデルタ側で海よりも暑くなるため可降水量が増加しても凝結が起こりにくい。

大気水収支を見ていく。降水はほとんど見られなかった(図 155)。蒸発散(図 156)は 0000 UTC で海に多かったが、0600 UTC で一度減り、1200 UTC でナイルデルタと海で多量の蒸発散が起きる。1800 UTC になると再び蒸発散が少なくなる。可降水量への寄与は全地域のどの時間帯もとても少なく、4 月の蒸発散量の寄与(表 28)はほぼ見られなかった。水蒸気水平輸送量(図 157)は 3 月と比べて多くなっている。風向きは 3 月とほぼ同じで、海側では西から東、陸上ではやや北西から南東に向かって吹きこんでいた。0000 UTC ではほぼ全域で発散場となっていたが、0600 UTC ではナイルデルタは収束場となっていた。1200 UTC では海上で発散しており、ナイルデルタ、砂漠は収束場となっており、1800 UTC でその傾向は強くなった。可降水量の変化への寄与(表 29)は 6 割から 9 割と非常に大きく可降水量の変化を支配していた。

### 3.3.9 2010年5月

雲量(図 158) は全体として 4 月より減っている。雲が海上に多く次いでナイルデルタ、砂漠に多い傾向は他の月と変わらない。高度別にみると(図 159), 0600 UTC では下層雲が少し見られるが、その他の時間は海上でしか下層雲は見られず、他の地域ではどの時間帯も 200~300 hPa 高度に雲が見られた。また 1200 UTC での 1000 hPa における海とナイルデルタ・砂漠の気温差は 10°C ととても大きく、相対湿度、比湿(図 160)にも影響を及ぼしている。持ち上げ凝結高度(

表 30) は 4 月と比べて海では 10 hPa ほど下がっていたがナイルデルタ、砂漠では 10 hPa ほど上がっていた。風は西風が 4 月と比べて 10 m/s ほど弱まっており、南北成分もとても弱かった(図 160)。

下層雲に注目すると(図 161), 可降水量の分布(図 162)とは一致していないが、可降水量の時間変化(図 163)と合わせると 4 月と同じメカニズムで雲形成に影響している。可降水量、可降水量の時間変化は 4 月に比べて大きくなっているため、気温差と合わせり雲が砂漠・ナイルデルタ上でできず海上でできていると考えられる。

大気水収支を見ると、降水はどの地域のどの時間帯にも見られない(図 164)。蒸発散(図 165)は 4 月と同じく 1200 UTC に海上・ナイルデルタ上でピークを迎え、他の時間は少量の蒸発散が起きていると考えられる。蒸発散の寄与(表 31)は海・砂漠ではほとんどなかったが、ナイルデルタでは 2~5 割の寄与が見られた。水蒸気水平輸送(図 166)をみると輸送量・方向は 4 月とあまり変わらなかった。寄与率(表 32)は海・砂漠では 7 割から 8 割と大きかったが、ナイルデルタでは蒸発散量の寄与が高いため 5 割から 6 割にとどまった。

5 月の事例は平均化されたものとは量・分布共に大きく異なる。エジプトの春は南から Khamsin と呼ばれる砂漠の低気圧がやってきてジェット気流と合体し、東に流れて行くことが知られており(Griffith, 1975), 春の間は決まった水蒸気輸送パターンがあるわけではなく可変であることを考慮にいれる必要がある。

### 3.3.10 2010年6月

6 月は 5 月に比べて更に雲量が減った(図 167)。0000・0600 UTC は比較的雲が多いが午後には少なくなる。高度別に見てみると(図 168), 他の月で見られた高層雲がとても少なくなり、下層雲のみが見られる状態であった。気温差は 1200 UTC で海と砂漠・ナイルデルタで 5 月と同じく大きく、相対湿度・比湿(図 169)に影響している。持ち上げ凝結高度(

表 33) は 5 月と比べて海では 10 hPa ほど下がったが、砂漠・ナイルデルタでは 0000・0600 UTC では 5 月と同じくらいであったものの 1200・1800 UTC ではそれぞれ 10 hPa ずつ高度が上がっており、水蒸気量が 1 日の気温変化に影響されていることを示唆している。風は 100~300 hPa で南北成分が強まり南西風が吹いている。また 1000 hPa 付近でナイルデルタ・砂漠で北風が卓越して

いる(図 169).

6月の雲は低層雲のため全雲量と可降水量の比較をすると、可降水量(図 170)と雲分布は一致しないものの、可降水量・可降水量の時間変化(図 171)は5月よりもさらに大きくなり、5月と同じメカニズムで雲形成に影響していると考えられる。

大気水収支をみると、降水は見られない(図 172)。蒸発散(図 173)は1200 UTCにナイルデルタ・海で最大となり、次いで1800 UTCが多かった。寄与率(表 34)は海・砂漠ではほぼなかったが、ナイルデルタでは1200 UTCで4割もの寄与があった。水蒸気水平輸送(図 174)は5月と比べて輸送量が増え、輸送方向は北西から南東に変化している。海上は常に大きな発散場であり、ナイルデルタでは朝は収束場であるが、1200 UTC以降は大きな発散場となっている。砂漠はどの時間も収束場となっている。寄与(表 35)はどの地域も7~9割と非常に高く可降水量の時間変化を支配していたと考えられる。

### 3.3.11 2010年7月

雲分布(図 175)は0000・0600 UTCにおいて海・ナイルデルタ上では6月と比べて増えているが、1200・1800 UTCでは減っている。高度別にみると(図 176)、900~1000 hPaの下層雲が確認でき、高層雲は全く見られなかった。また0000・0600・1200 UTC雲ができていた位置で砂漠・ナイルデルタと海に気温差が見られ、特に1200 UTCでの1000 hPa付近の気温差は非常に大きい。これは相対湿度・比湿(図 177)に影響を与えている。持ち上げ凝結高度(表 36)は6月と比べるとどの地域のどの時間帯もおよそ10~30 hPa程度下がっている。風は100~300 hPa高度で南北成分と東西成分が同じくらい強く、南西風が吹いていることがわかる。また1000 hPa付近ではナイルデルタ、砂漠上で北風が卓越していた(図 177)。

可降水量(図 178)・可降水量の時間変化(図 179)は共に6月より増えている。可降水量の時間変化は0000・0600 UTCで砂漠・ナイルデルタで減り1200・1800 UTCでは砂漠側で増えているが、6月と同じく地域間の気温差により朝は可降水量が多い海上で、午後は気温が低い海上で雲ができやすい傾向を示している。

大気水収支をみてみると、降水はどの地域のどの時間帯にも見られない(図 180)。蒸発散(図 181)は1日を通じてナイルデルタ上で大きく、1800 UTCで最も大きくなった。可降水量の変化への寄与率(表 37)は海・砂漠で1割から5割と6月に比べ大きくなったが、ナイルデルタでは1200 UTCで3割、他の時間で1割と他の地域に比べ小さかった。水蒸気水平輸送(図 182)は輸送の方向は6月と変わらなかったが、輸送量が全体的に6月よりも減少した。海上では朝が収束場で1200 UTC以降は大きな発散場となっていたのに対し、ナイルデルタ上では0600・1200 UTCで収束場、1800 UTCで大きな発散場となっていた。寄与率(表 38)は海・砂漠で7割から9割ととても大きかったがナイルデルタは6割程度で他の地域よりも蒸発散量の寄与が大きくなっている。

### 3.3.12 2010年8月

雲は7月よりも減り、0000・0600 UTCでは海・ナイルデルタ上に雲が見られるが1200UTC以降には消えてしまう(図 183)。高度別にみると(図 184)、0000・0600 UTCで900~1000 hPaにおいてどの地域でも、特にナイルデルタ上の雲が多くなり1200 UTC以降は消えてしまった。この時の気温をみると、0000・0600 UTCではナイルデルタの気温が他地域よりも低かった。また1200 UTCになると1000 hPa付近で海とナイルデルタ・砂漠の気温差が大きくなり、相対湿度、比湿(図 185)に顕著に表れている。持ち上げ凝結高度(表 39)は7月に比べて3~10 hPa程度低くなった。風は100~300 hPaにおいて弱い南西風が吹いていて、1000 hPa付近では1200 UTCにナイルデルタ・砂漠上で北風が卓越していた。

可降水量(図 186)と可降水量の時間変化(図 187)は7月よりも大きくなっている。可降水量は海側で多く次いでナイルデルタ、砂漠になっている。可降水量の時間変化は7月と同じ傾向を示しているが、変化量が8月の方が大きく、7月と同じメカニズムで雲形成に影響していると考えられる。

大気水収支を比較すると、8月に降水はほぼ見られなかった(図 188)。蒸発散(図 189)はナイルデルタでは0600・1200UTCに多量である。蒸発散量の寄与率は海・砂漠・ナイルデルタでそれぞれ1割~5割と他の月よりも大きかった。特にナイルデルタでは0600・1200 UTCにおける蒸発散量の寄与率(表 40)が4割と大きかった。水蒸気水平輸送(図 190)は7月に比べて大きく減り、輸送方向は北北西から南南東である。海上は0000・0600 UTCで収束場、1200・1800 UTCで大きな発散場となるのに対し、砂漠上では反対に0000・0600 UTCで発散場、1200・1800 UTCで収束場となる。ナイルデルタは0000・1800 UTCで発散場、0600・1200 UTCで収束場となる。可降水量の時間変化への寄与率(表 41)はどの地域も6割~8割であった。

8月8日の事例との関連であるが、雲量・大気水収支量は事例と平均化されたもので異なったが、分布は一致していた。

### 3.3.13 可降水量の変化に対する寄与率の月変化

各月の蒸発散量・水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率を月変化としてみていく(図 191)。どの地域でも蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率は水蒸気発散量に比べて月々の変動が大きく、特に夏の0600・1200 UTCにおいて大きくなり夏の蒸発散量が大気中の水蒸気量に大きく寄与していることを表している。水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与はどの地域でもいつでも大きく6割から9割を占めており、海・砂漠では月変化はあまり大きくなかった。しかしナイルデルタでは月変化が海・砂漠に比べて大きく、水蒸気発散量の寄与が小さかった。

蒸発散量・水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率の季節変化をみていくと(表 42)、蒸発散量の寄与は一貫して1割から4割程度であり、海・砂漠・ナイルデルタで夏、特に0600・1200 UTCで最も大きく、冬または春に最も小さくなった。一方水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与は6割から9割と大きかった。水蒸気発散量の寄与率が最も大きいまたは小さい季節・時間は地域によって異なった。

### 3.3.14 まとめ

ナイルデルタの大気水収支と雲分布は月によって違いが見られた。9月はほぼ900~1000 hPa 高度における低層雲しか見られなかったが、10月から200~300 hPa 高度で高層雲が現れ始め、下層雲の量も増え始める。その後高層雲は1月まで雲量が増えて続け、が、その後徐々に少なくなって7月には全く現れなくなる。高層雲は他の地域と比べて常に海上で多かったが、5月はナイルデルタで最も多かった。低層では1月をピークに5月まで雲量が減り続けた。低層雲は常にどの時間も海上で最も雲量が多かったが、6月からナイルデルタでは0600 UTC において低層雲が急激に増えて1200 UTC には消滅するというパターンが見られ始め、これは8月に最も顕著となった。

高層雲は風の強弱と対応しており、これは3.4章以降で議論する。

低層雲は9月には下層雲の分布と気温、可降水量の時間変化の分布が対応していたが、10月からは可降水量の時間変化はほぼ見られず、可降水量の分布と下層雲の分布が対応していた。これは海とナイルデルタ・砂漠の気温差が比較的小さいため水蒸気量が多いところほど雲ができやすいことを示している。3月からは地域間の気温差が大きくなり、低層雲の形成と気温・可降水量の時間変化が対応するようになった。

可降水量および可降水量の時間変化に影響を及ぼす大気水収支をみると、降水量は11月から1月に見られたが他の月では一切見られず、これは地中海周辺の気候と対応している (Barry and Chorley, 2003)。蒸発散はどの月も1200 UTC に最大となった。冬は降水の影響で蒸発散量が大きくなる傾向が見られたが、他の月を比べると8、9月の蒸発散量が大きかった。水蒸気輸送をみると冬は西から東に向かって多量の水蒸気が輸送されていたが、夏は北から南に水蒸気が輸送されていた。秋と春はこの2つの輸送の移行期で北西から南東に向かって水蒸気が輸送されていた。11月から3月は海上で常に発散場となっており、9・10月と4月以降は0000・0600 UTC で収束場、1200 UTC 以降で発散場となった。ナイルデルタの北側は海洋と同じ特徴を示したが、南側・砂漠ではどの季節においても0600・1200 UTC で収束場、0000・1800 UTC で発散場となり、収束量は8月・9月に最大となった。

### 3.4 季節別雲量分布と大気水収支の特徴

3.3 で詳しく見てきた雲量や気象要素を3か月平均でとらえる。季節別に雲量をみると(図192)、2月がもっとも多く8月・9月に最も少なくなることがわかる。また、どの季節も海上で最も多く、次いでナイルデルタ、砂漠となった(図193)。季節別に高度分布を見てみると(図194)、秋は200~300 hPa の高層雲と800~900 hPa の下層雲が見られ、どの地域も雲量は同じくらいであった。冬も同じ高さで雲が見られるが、海上では高層雲が多く見られた。春になるとどの地域でも下層雲が少なくなり、200~300 hPa 高度に雲がたくさん見られる。夏は高層雲はほぼ見られずナイルデルタ・砂漠上で900~1000 hPa 高度において下層雲が見られた。気温は秋はどの地域もあまり地域差がみられなかったが、冬・春・夏では海上と比べて砂漠・ナイルデルタにおいて気温が高かった。相対湿度

の分布と雲分布は対応している。相対湿度が 100%に達していないのは平均しているからである。相対湿度はナイルデルタ・砂漠と比べて海上の方が大きかった。持ち上げ凝結高度(表 43)は海上では季節変化が少なく、秋を除いた全ての季節で最も低かった。ナイルデルタでもあまり季節変化は見られなかった。砂漠では他の地域に比べてどの季節でも持ち上げ凝結高度が高かった。これは比湿の量に関係している(図 195)。秋ではどの地域も 0.01 kg/kg 前後であったが、冬になると 0.005 kg/kg 前後ととても少なくなり、冬に水蒸気の量が減少することを示している。春になると再び比湿は増え始め、夏に最も多くなる。どの季節も海の比湿が最も多く砂漠がかなり小さかった。風は 200~300 hPa 高度の東西風に注目すると、秋から冬にかけてとても西風が強くなるが春に弱まり始め夏にはかなり弱くなる。南北風に注目すると秋では 100~300 hPa において南風が吹き 700 hPa 以下ではナイルデルタ・砂漠で北風が卓越するが冬になると 200~300 hPa では北風成分にかわる。また冬には 700 hPa 以下で吹いていた風がおさまる。春になると 700 hPa 以下でナイルデルタ・砂漠で北風が強くなる。そして夏になると再び 100~300 hPa 高度で南風の成分が強くなり、700 hPa 高度以下ではナイルデルタ・砂漠で北風成分が強くなる。

3.3 章で低層雲の形成を促す可降水量への時間変化には水蒸気輸送が大きく寄与していることがわかったが、水蒸気輸送の東西成分と南北成分のどちらがより寄与しているのかを調べるため季節別の大気水収支を大気柱で表わす。また季節別の卓越風を Griffith (1972)を基に地図上に表わした(図 196, 図 197, 図 198, 図 199)。

ナイルデルタの風系であるが、秋は北西から南東に向かって吹きぬけるが、冬は西風が卓越風になる。春になると徐々に北から吹き始め、夏は北北西から南南東に向かって風が吹く。

全ての季節において水蒸気の輸送は相対的には東西方向が大きく南北方向に少なかった。例外は夏でありこの時ナイルデルタと砂漠上で南北方向と東西方向の輸送がほぼ同等となっていた。輸送方向と風系はよく一致しており、夏は北から南に風が吹くので東西の水蒸気輸送が小さくなると考えられる。一方冬はどの地域でも東西成分の水蒸気輸送量が最大となるのは卓越風が西から東に吹いているためであると考えられる。また水蒸気は東西方向では収束、南北方向では発散していた。

降水は秋に砂漠・ナイルデルタ・海でごく少量発生していたが、冬・春では海上で少ししか見られなかった。夏はどの地域でも起きていない。

蒸発散は季節変化としてはどの地域も冬に最も小さくなり、夏に最も大きくなった。秋・春はその中間くらいであった。どの季節も他の地域に比べてナイルデルタでの蒸発散が大きかった..

### 3.5 年間の大気水収支

年間の大気水収支を大気柱として表わした(図 200, 図 201)。水平方向の水蒸気輸送を見るとどの地域でも東西方向の水蒸気輸送が収束、南北方向の水蒸気輸送が発散していた。東西方向の水蒸気輸送は海で最も多く、次いで砂漠、ナイルデルタとなった。南北方向の輸送は砂漠で最も多く次いでナイルデルタ、海となり東西の水蒸気輸送とは反対の結果となった。一方鉛直方向の水蒸気輸送をみると、降水量・蒸発量共にナイルデルタで最も多く、次いで海、砂漠と多くなり、

ナイルデルタと海では鉛直方向の水蒸気輸送が大気柱内の水蒸気に大きく影響していることがわかる。可降水量の変化は年単位という長期スパンではほぼない。水蒸気発散量は海とナイルデルタで同じくらいであり砂漠は二つの地域に比べ少なかった。

### 3.6 大気水収支法と現地地上観測の蒸発散量の比較

大気水収支法で算出した蒸発散量の妥当性を評価するため、ナイルデルタで行われている地上観測結果との比較を行った。現地観測による蒸発散量のデータは異常値が出ているなどの関係で Sakha Nは2010年7月1日 0000 UTCから、Sakha Sは2010年7月2日の0900 UTCから、Zankalonは2010年8月7日の0000 UTCからそれぞれ2010年8月31日の23:30までの蒸発散量を比較に用いた。図 202は計算上0 mm/hour以下になってしまった値を全て0 mm/hourとした時の蒸発散量の値を用いた蒸発散量の日変化である。昼に蒸発散量が最大となって夜にほぼなくなる傾向は比較的現地観測と一致していた。

また0以下になってしまった値をそのままにした蒸発散量の結果も用いて1カ月の蒸発散量の積算値を求めた(表 44)。蒸発散量は7月も8月も0 mm/hour以下を0 mm/hourとした算出結果は現地観測よりも過大評価している。一方0 mm/hour以下をそのままにした蒸発散量は現地観測よりも蒸発散量を過小評価していることが分かった。

また大気水収支法で求めた蒸発散量の積算量を月別にグラフにすると(図 204)、0 mm/hour以下の値を0 mm/hourとした上のグラフでは蒸発積算量はナイルデルタがどの月も最も多く、次いで海、砂漠となっている。またナイルデルタでは11月・7月に積算量が200 mmと最大となり、5・6月に150 mm弱と最小となった。一方海では11月から4月までは約150 mm程度の蒸発があり他の月は約100 mm程度であった。砂漠では1年を通じて50~100 mmの蒸発量があったとされる。対して蒸発量が0 mm/hour以下となった場合も計算に含んだ下のグラフではどの地域も蒸発散量の変動が非常に大きかった。上のグラフとは違いナイルデルタでどの月も蒸発散量が大きいとは限らず9月・1月・2月・5月では海で蒸発散量が最も大きかった。しかし9月・5月のナイルデルタでは積算量が0またはマイナスとなっており、0 mm/hour以下の蒸発を含んだ積算量の値は有意ではない。また年間の蒸発積算量を求めて分布図にしたものが図 205、図 206である。どちらの図でも海上で蒸発積算量が最も多く、次いでナイルデルタ、砂漠となり分布は一致している。しかし図 206では砂漠やナイルデルタで積算量がマイナスとなっており有意とはいえない。

大気水収支法を用いて蒸発散量を算出する時は0 mm/hour以下を0 mm/hourと統一する際は過大評価、0 mm/hour以下をそのまま蒸発散量の評価に使用するときは過小評価している可能性が高いことを考慮に入れる必要がある。

## 4. 考察

### 4.1 気候システムとの関係

3章で見てきた通り、ナイルデルタ周辺では上層雲と下層雲が出現した。上層雲は秋から増え始め、冬に最大となるが春に減り始めて夏には全くなくなった。これは風の強弱特に東西成分と対応していた。この原因は地中海の上 200~300 hPa 高度において吹いている亜熱帯ジェットという強い西風に起因しているものと考えられる。このジェット気流は高層において氷でできた巻雲を伴う。またジェット気流は夏にとっても弱まることが知られており、これと巻雲の量は対応している (Sassen and Campbell, 2001)。本研究で確認された高層雲はこれであると考えられる。

下層雲は可降水量および可降水量の変化と気温に対応して形成されていたが、可降水量を支配する要因は水蒸気水平輸送であり、東西成分は発散、南北成分は収束していた。水蒸気輸送はより気候システムに支配されていると考えられる (図 207)。地中海上では夏はアズレス高気圧が拡大し、地中海全体を覆うために乾燥した晴天の日が続くことが知られている (Barry and Chorley, 2003)。また高気圧なので、気圧が相対的に低いアフリカ大陸に風が流れ込み、エジプト上では北風が卓越風となる。更にアフリカ内陸北側にモンスーントラフがあり、地中海からトラフに向かって吹く風が強くなって南北方向の水蒸気輸送が発散していると考えられる。

秋・冬になるとアズレス高気圧のセルが崩壊し、北から北極の冷たい空気が流れ込み、地中海上では常に低気圧が存在し大気が不安定な状態となる (Barry and Chorley, 2003)。冬にはアフリカ内部のモンスーントラフが南下し南北方向の水蒸気輸送は弱められるが、トラフに向かって風が強くなっていくので南北方向の水蒸気輸送は発散すると考えられる。強い亜熱帯ジェットが冬には北側に移動し低気圧を東側へと押しやる。この風系と水蒸気輸送は一致しているため、水蒸気輸送は大規模な気候システムの影響を受けていると言える。

春は再びアズレス高気圧が拡大してくるため水蒸気の輸送方向は秋と同じように北西から南東となる。

## 4.2 地域気候への影響

ナイルデルタの大気水収支は他地域と比べて特徴的であった。他地域における蒸発散の可降水量の時間変化に対する寄与が 1~2 割程度であったのに対し夏では昼に 5 割ほど大気柱の可降水量の変化に寄与していた。これは砂漠ではもともと水蒸気が少なく蒸発散が起きないのに対し、ナイルデルタでは灌漑を主とした人間活動による蒸発散が見られ、これが雲形成に影響していたと考えることができる。インドの西ベンガルではプレモンスーン期に灌漑による蒸発散が降雨を増やすことが知られているので (Lohar and Pal, 1995)、今後ナイルデルタ周辺で灌漑面積が増えると雲が増える可能性がある。

本研究ではどの地域にも上層雲と下層雲が見られた。上層は温度が低く氷の粒でできているため、日射を屈折・反射・吸収することでその地域の放射に影響を与える可能性がある (Liou, 1986)。また現地観測で観測された積雲も、厚さによって違いが見られるものの放射その地域の放射収支に影響を与える (Barry and Chorley, 2003)。

雲は温暖化に影響することがわかってはいるものの、雲が温暖化に対してどの様にフィードバック

クしているかは不明な点が多い (Barry and Chorley, 2003). 地球全体の温度が上がると蒸発が活性化, 対流活動がさかんとなって雲ができてやすくなるが, この雲が太陽放射を反射することによって地上に入る放射量を減らして温度が上がるのを防ぐ負のフィードバックと, 雲が近赤外線をとらえて熱が宇宙に逃げるのを防ぎ, 地球に戻すことで気温の上昇を助長する正のフィードバックのどちらの効果が大きいかは未だわかっていない (Barry and Chorley, 2003). ナイルデルタでは夏の朝・午後の蒸発散が雲形成に寄与していたため, 蒸発散が増えて雲量が増えると地域の気温に何らかの形で影響する可能性があると考えられる.

## 5. 結論

大気水収支法を用いて大気水収支を計算し, 雲形成と照らし合わせると季節間で異なる特徴が見られた. 雲は冬に多く夏にとても少なくなり, 秋と春はその移行期にある. 雲は主に高層雲と低層雲が多く, 中層雲は見られなかった. 高層雲は冬に最も多いが, これは北から寒気が入り込んで大気が不安定になって上昇流が起き, 水蒸気が持ち上げられて凝結することに起因している. 一方低層雲は冬と夏に多く, 典型例では低層で上昇気流が発生していたが, 冬は水蒸気量が多いところで気温が低く相対湿度が 100%になって凝結が起きやすくなったこと, 夏は低温域に水蒸気が輸送されることにより凝結が起きやすくなったことに起因する. 可降水量の時間変化に対する寄与は水平水蒸気発散量による寄与が 7~9 割ととても高く蒸発量は低かったが, 夏にはどの地域も蒸発量の寄与が大きくなる. これは秋から春は主に西から輸送された水蒸気が収束して大気水収支を増やす方向にはたっているのに対し夏はアゾレス高気圧が地中海上に常に存在し, 水蒸気が南北方向に輸送されるため東西方向の水蒸気輸送が弱められること, また日射量が増えて蒸発量が多くなることの二つが相乗することによると考えられる. ナイルデルタにおいては灌漑が行われており, この灌漑地域からの蒸発散による水蒸気の増加が雲を増やす可能性がある. 雲は地域の気温に対して正または負のフィードバックをするため, 灌漑の効果によって雲が増えるとナイルデルタの気温に対して何らかの影響があると考えられる. 今後他の年の雲形成事例も解析することでこの効果を解明できる可能性がある.

## 謝辞

本研究を行うにあたり、筑波大学大学院生命環境科学研究科の杉田倫明先生には、現地観測をはじめ、研究方法における丁寧なご指導など、数多くの面で終始お世話になりました。大変感謝申し上げます。筑波大学大学院生命環境科学研究科水文学分野の諸先生方には、機会のある度に貴重なご助言をいただきました。特に同研究科の浅沼順先生にもご指導いただきました。また、杉田研究室の院生の方々にはゼミでの貴重なご助言・ご意見のほか、現地観測を行うに当たって大変お世話になりました。特に、福田敬広氏には **Fortran** について丁寧にご指導いただいた他、**AWS** のデータ補正にご協力頂きました。

また本研究では気象分野で用いられているソフトウェアを使用させていただきました。つきましては筑波大学大学院生命環境科学研究科博士後期課程地球環境科学専攻の釜江陽一氏には **Grid Analysis and Display System (GrADS)** についてご指導いただきました。また **Generic Mapping Tools (GMT)** の使用方法について筑波大学生命環境学群地球学類の吉田あい氏に教えて頂きました。

本論文で用いた計算は、**Oki *et al.* (1995)** で用いられた方法に基づいています。この論文は研究方法や概念を理解するのに大変役立つものでした。沖大幹氏には、貴重な論文を参考にさせて頂いたことを、この場を借りて感謝申し上げます。

エジプトでの現地調査では、**JST-JICA 連携地球規模課題対応科学技術案件「ナイル流域における食糧・燃料の持続的生産」**プロジェクトに参加されている諸先生方および、観測圃場を提供して下さった現地の農家の方々など多くの方の援助により観測が可能となり、様々な面で大変お世話になりました。特にカイロ大学の **Dr. Rushdi** には貴重なご助言頂きました。

また、筑波大学生命環境学群地球学類水文分野の皆様のご存在は、研究を続けるにあたって大きな励みになりました。

以上の方々と、本研究を応援して下さいました家族や友人を始めとする全ての方々に、この場を借りて心から御礼申し上げます。

## 参考文献

- 沖大幹・虫明功臣・増田耕一 (1993) 大気水収支法による地球規模での年河川流出量の算定  
水工学論文集 36 573-578.
- 佐藤正樹 (2010) [http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~hmiya/sympo/MSatoh\\_4th\\_Chimondai2010.pdf](http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~hmiya/sympo/MSatoh_4th_Chimondai2010.pdf)  
(2011年1月25日閲覧)
- 佐藤政良 (2009) WAT プロジェクトホームページ <http://www.agbi.tsukuba.ac.jp/~wat/>  
(Accessed on 31th January)
- 高野松美 (2007) 雲監視装置による全雲量算出方法とその結果 高層気象台彙報 67  
67-74.
- 筑波大学水文科学研究室 (2009) 水文科学 共立出版 55-64, 80-89.
- 福田敬広 (2010) ナイルデルタの農地における蒸発散量の評価  
筑波大学第一学群自然学類卒業論文 p4-6,33.
- 谷田貝亜紀代、安城哲三 (1997) タク라마カン砂漠周辺の降水と水蒸気輸送場の経年変動  
地学雑誌 106 260-269.
- 山内恭 (1997) 衛星データによる南極の雲分布 南極資料 41 23-40.
- 山本一清(2005) LIA32 <http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/index.html>  
(Accessed on 31th August 2010)
- 渡辺哲平、沖大幹、虫明功臣 (1999) タイにおける大気水収支と広域蒸発量-1996年から  
1997年観測の速報- 水文・水資源学会誌 12 221-230.
- Barry, B.G., Chorley,R.J (2003) *Atmosphere, weather and climate 8<sup>th</sup> Edition*  
Routledge London and New York. 241-249
- Berrisford, P., Dee,D., Fielding,K., Fuentes, Kallberg,P., Kobayashi,S., Uppla,S. (2009)  
The ERA-Interim archive – Version 1.0: *ERA report series* (Reading, United  
Kingdom-European Centre for Medium Range Weather Forecast) 1-14.
- Brubaker, K. L., Entekhabi, D., Eagleson, P.S. (1994) Atmospheric water vapor  
transport and continental hydrology over Americas: *Journal of Hydrology* 155  
407-428.
- Cazorla,A., Olmo, F.J., Alados-Arboledas (2008) Development of a sky imager for cloud cover  
assessment: *Journal of Optical Society of America* 25 29-39.
- ECMWF *Reanalysis Interim* <http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/index>  
(Accessed on 11th December 2010)
- ECMWF Reanalysis Interim (data access)  
[http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim\\_daily/levtype=pl/](http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/levtype=pl/)

(Accessed on 1 February 2011)

Egypt State Information Service *Population* <http://www.sis.gov.eg/En/Default.aspx>

(Accessed on 15th June 2010)

Griffiths, J. F. (1972) Climate of Africa: *World Survey of Climatology* **10** 2-131.

Jakob, C. (1999) Cloud cover in the ECMWF Reanalysis: *Journal of Climate* **12** 947-959.

JRA-25 実施グループ (2001) JRA-25 長期再解析計画について *天気* **48** 49-55.

Kreuter, A., Zangerl, M., Schwarzmann, M., Blumthaler, M. (2009) All-sky imaging: a simple, versatile system for atmospheric research: *Applied Optics* **48** 1091-1097.

Lohar, D., Pal, B (1995) The effect of irrigation on pre-monsoon season precipitation over south-west Bengal, India: *Journal of Climate* **8** 2567-2570.

Mariotti, A., Struglia, M. V., Zeng, N., Lau, K. M. (2002) The hydrological cycle in the Mediterranean region and implications for the water budget of the Mediterranean Sea: *Journal of Climate* **15** 1674-1690.

Mikhailova, M. V. (2001) Hydrological regime of the Nile Delta and dynamics of its coastline: *Water Resources* **28** 526-539.

Oki, T., Musiak, K., Matsuyama, H., Masuda, K. (1995) Global atmospheric water balance and runoff from large river basin: *Hydrological Processes* **9** 655-678.

Poli, P., Dee, D., Berrisford, P., Thépaut, J. (2010) Overview of satellite data assimilation in the ERA-Interim reanalysis

[http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/Publications/ConferenceandWorkshoppProceedings/2010/groups/cps/documents/document/pdf\\_conf\\_p57\\_s6\\_02\\_poli\\_v.pdf](http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/Publications/ConferenceandWorkshoppProceedings/2010/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p57_s6_02_poli_v.pdf)

(Accessed on 1 February 2011)

Sassen, K., Campbell, J. R. (2001) A midlatitude cirrus cloud climatology from the facility for atmospheric remote sensing. Part 1: Macrophysical and synoptic properties: *Journal of the Atmospheric Sciences* **58** 481-496.

Shaltout, M., Hassan, A. H., El-Hosary, T. N. (1996) The estimation of moisture over Egypt from Meteosat satellite observation: *Advances in Space Research* **18** 41-46.

Simmons, A., Uppla, S., Dee, D., Kobayashi, S. (2006) ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards: *ECMWF Newsletter* **110** 25-35.

Simpson, J., Adler, R. F., North, G. R. (1988) A proposed Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite *Bulletin American Meteorological Society* **69** 278-295.

Stanley, D. J., Warne, A. G. (1998) Nile Delta in its destruction phase: *Journal of Coastal Research* **14** 794-825.

Star, V. P., Peixoto, J. P. (1958) On the global balance of water vapor and the hydrology of deserts: *Tellus* **10** 188-194.

- Stull, R.B. (1988) *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*  
Kluwer Academic Publishers 176.
- Trenberth, K.E., Guillemot, C.J. (1998) Evaluation of the atmospheric moisture and hydrological cycle in the NCEP/NCAR reanalyses: *Climate Dynamics* **14** 213-231.
- University of Hawaii (1991) Generic Mapping Tools <http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>  
(Accessed on 31th January)
- Yatagai, A. (1998) Variation of summer water transport related to precipitation over and around the arid region of the Eurasian Continent: *Journal of Meteorological Society of Japan* **76** 799-815.

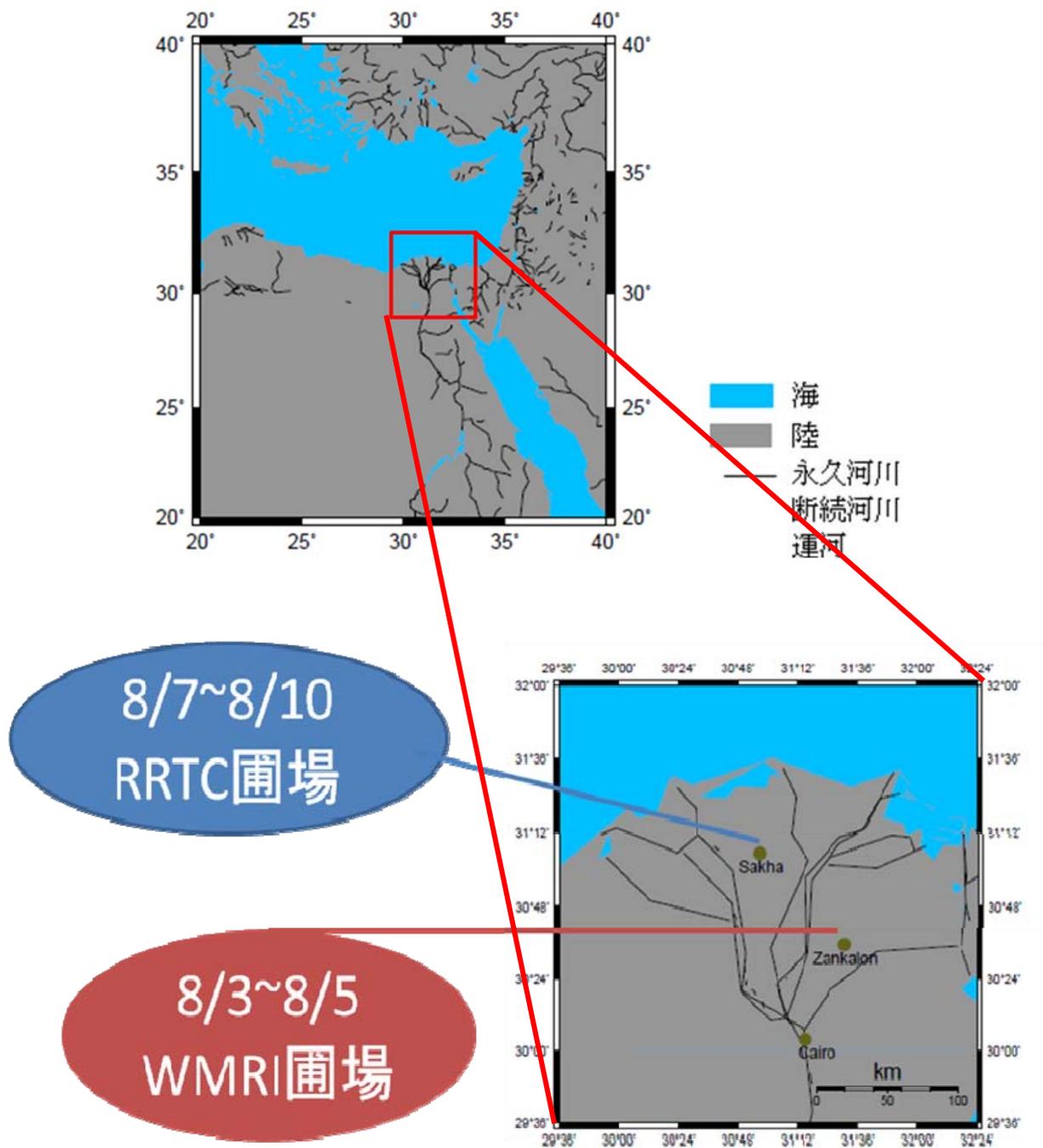


図 1 研究対象地域

下の図は上の図の拡大図。2010年8月3日から8月5日はZankalonのWMRI (Water Management Research Institute) の圃場にて、2010年8月7日から8月10日はSakhaのRRTC (Rice Research Training Center)の圃場で全天写真撮影を行った。

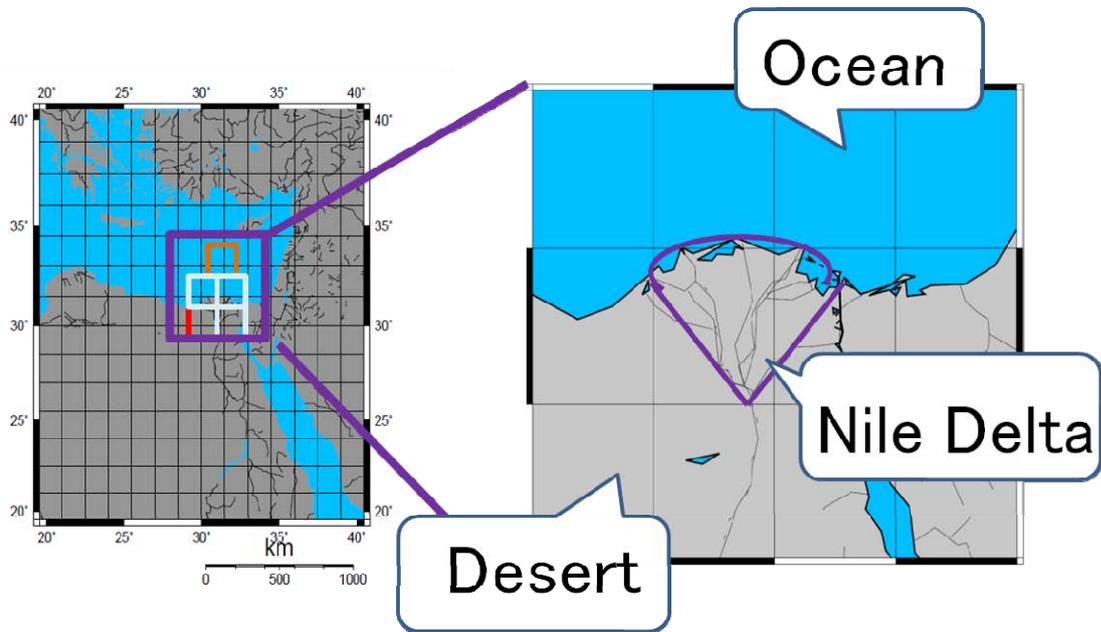


図 2 エジプトの地図

30° N, 30° E グリッドを砂漠の代表, 33° N, 31.5° E グリッドを海の代表, この 2 つのグリッドを用いて計算したものをナイルデルタとして計算を行った.

Sakha A (31°5'54.7"N, 30°55'21.00"E) and B (31°5'47.6"N, 30°55'21.20"E)



Zankalon (30°34'50.04"N, 31°25'59.94"E)



図 3 全自動気象観測装置 (AWS)の位置

WAT プロジェクトホームページ

[http://www.agbi.tsukuba.ac.jp/~wat/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8%3Asakha&catid=15%3Asakha-and-zankalon&Itemid=21&lang=ja](http://www.agbi.tsukuba.ac.jp/~wat/index.php?option=com_content&view=article&id=8%3Asakha&catid=15%3Asakha-and-zankalon&Itemid=21&lang=ja) )より抜粋

上が Sakha の図. Sakha A (Sakha N)で慣行畝間灌漑, Sakha B (Sakha S)では点滴灌漑がおこなわれていた. 下が Zankalon の図であり, ここではマルチングをしいた畝間灌漑が行われていた.

表 1 AWS 測定項目  
 福田 (2010) を一部改変

項目	測器	高度	サンプリング時刻	平均化時間	ロガー出力時刻
風速 3 成分 $u, v, w$ [m/s] 気温 $T$ [°C]	超音波風速温度計 (Gill R3-50)	5.78 m	10 Hz	前 30 分	毎時 0 分, 30 分
水蒸気濃度 $\rho_v$ [g/m <sup>3</sup> ] 二酸化炭素濃度 $\rho_c$ [mmol/m <sup>3</sup> ]	オープンパスガス アナライザー (LI-COR, Inc., LI-7500)	5.78 m	10 Hz	前 30 分	毎時 0 分, 30 分
短波放射 $S^{\downarrow}, S^{\uparrow}$ [W/m <sup>2</sup> ] 長波放射 $L^{\downarrow}, L^{\uparrow}$ [W/m <sup>2</sup> ]	4 成分放射計 (CHF-NR01)	4.2 m	毎 10 秒	前 30 分	毎時 0, 30 分
気温 $T_a$ [°C] 湿度 $Rh$ [%]	温湿度計 (HMP 155)	0.5, 1, 3 m	毎 10 秒	前 30 分	毎時 0, 30 分
地中熱流量 $G$ [W/m <sup>2</sup> ]	地中熱流板 (CHF-HFP-01)	-0.03 m	毎 10 秒	前 30 分	毎時 0, 30 分

Sigma Circular  
Fisheye 4.5mm 1:2.8

Pentax  
\*istDs2

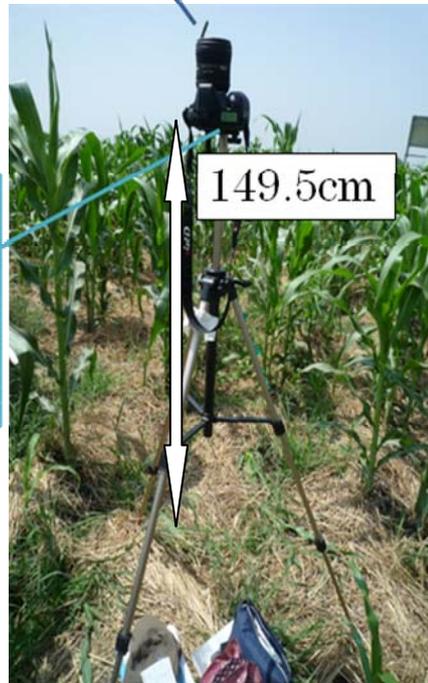


図 4 地上写真撮影の様子

地上から 149.5 cm の高さに魚眼レンズ (Sigma Circular Fisheye 4.5mm 1:2.8) を設置し、一眼レフ (Pentax \*istDs2) を使用して 1 時間毎に全天撮影を行った。

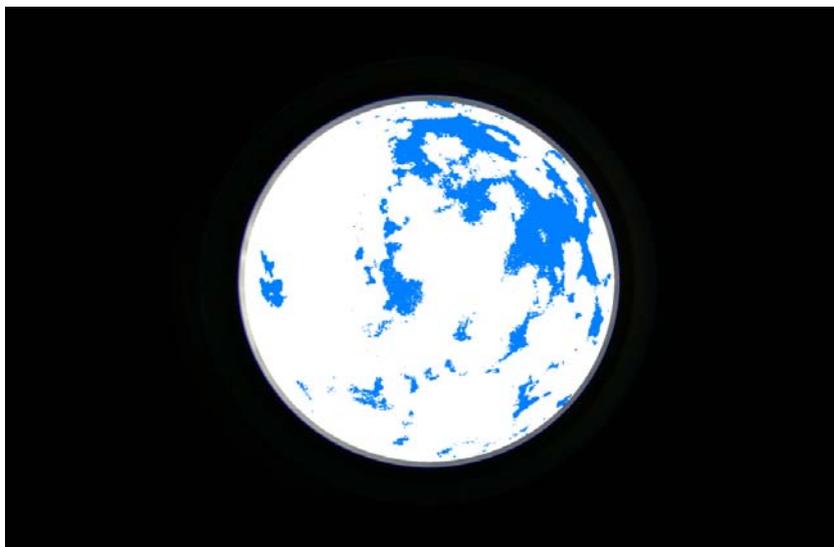


図 5 全天画像の教師付き分類の様子（太陽が含まれていない場合）

上：2010年8月8日 8:55（現地夏時間）に撮影した全天写真

下：LIA32により雲と空に教師付き分類した後の画像

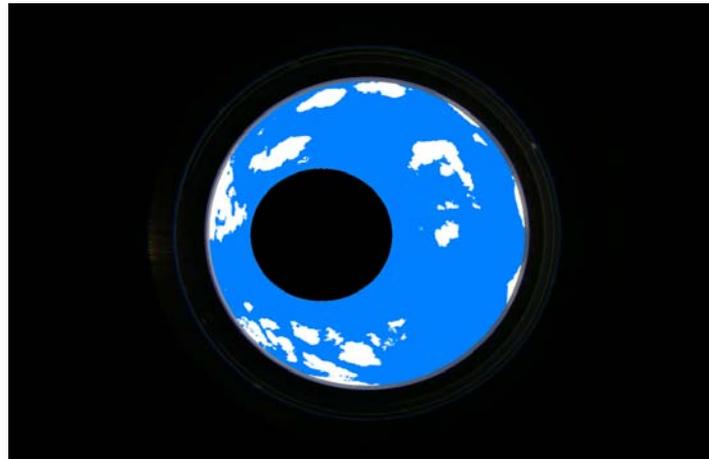


図 6 全天画像の教師付き分類の様子（太陽が含まれている場合）

上：2010年8月9日に撮影した全天写真

中：太陽を Photoshop 6.0 を用いて遮蔽し，雲と空に教師付き分類した画像

下：Photoshop 6.0 を用いて遮蔽した部分を再び空ピクセルに戻した画像

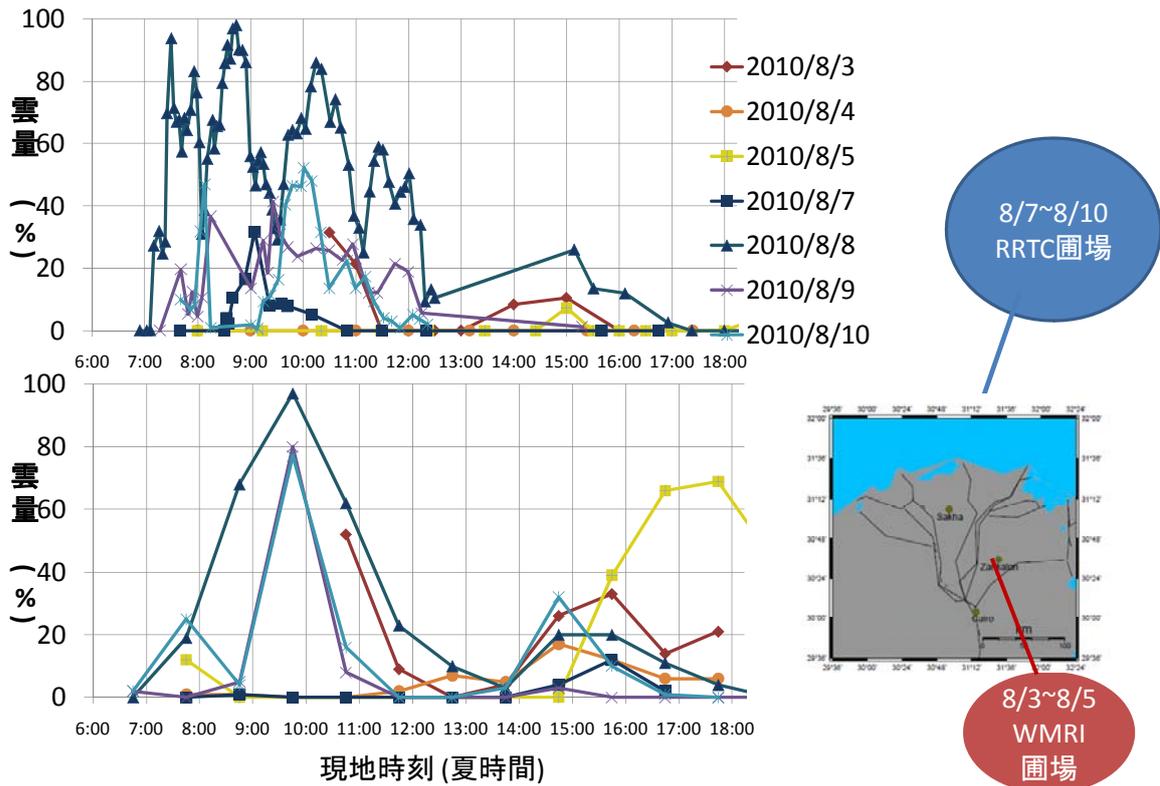


図 7 地上観測と衛星観測の比較

上：地上雲量観測の結果 (4 km×4 km)

下：ECMWF Cloud Cover で用いられている衛星の一つである Eumetsat Meteosat Second Generation のプロダクト 'Cloud Analysis'の雲量観測の結果 (111 km ×111 km)

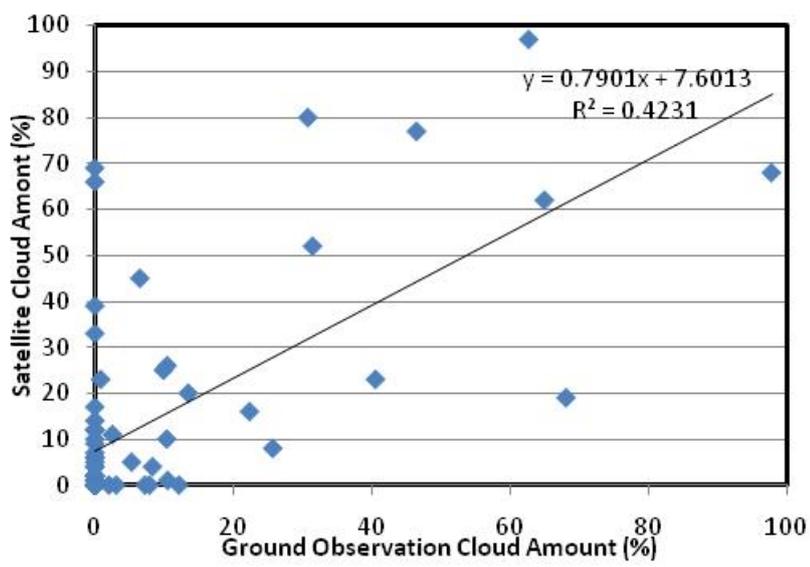


図 8 地上観測雲量と衛星観測雲量の相関の比較図

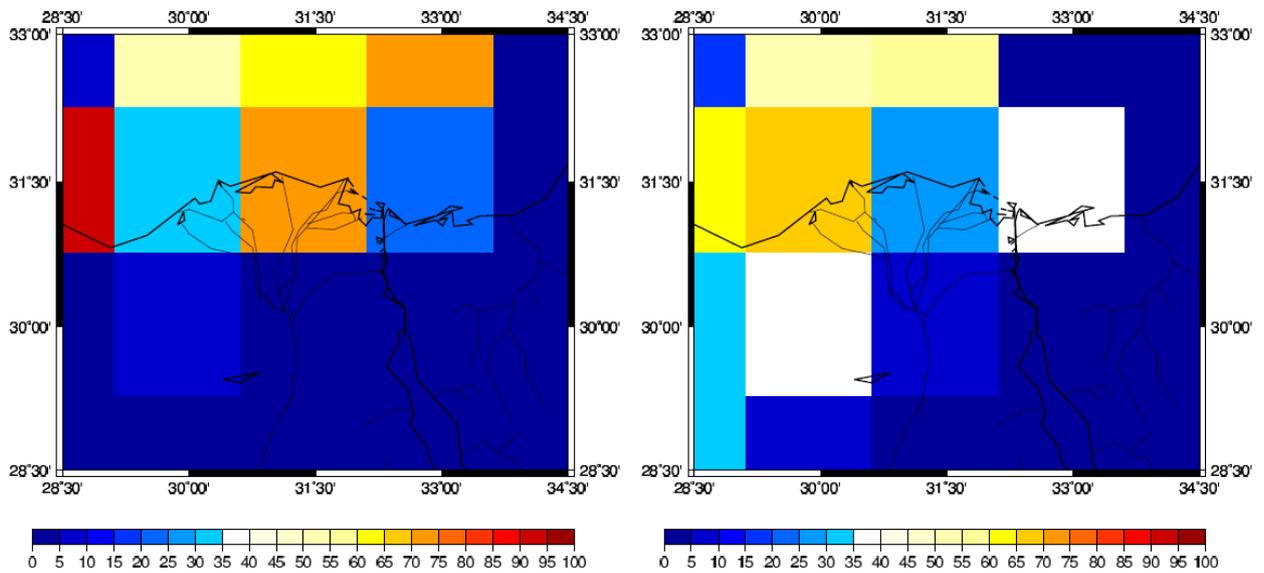
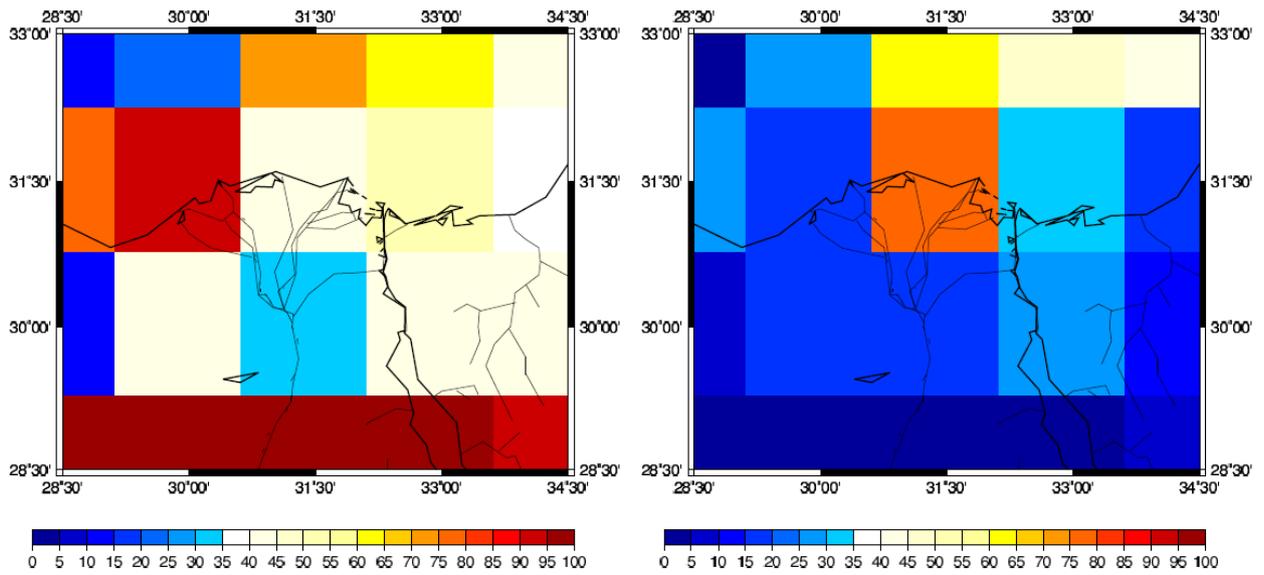


図 9 全雲量の分布 (2009 年 10 月 22 日)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

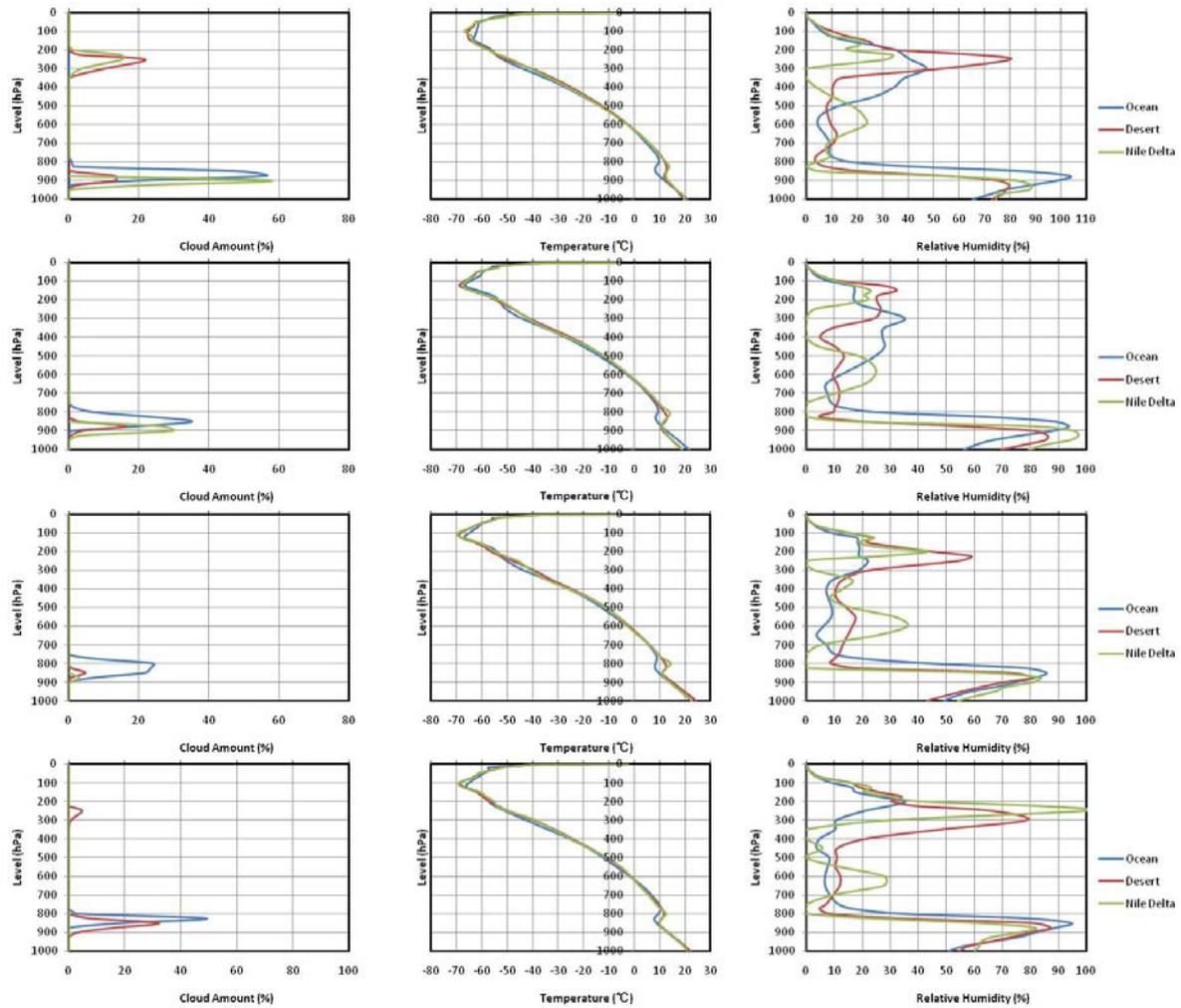


図 10 時間別気象要因高度分布 (2009年10月22日)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 2 持ち上げ凝結高度 (2009年10月22日, hPa)

Time	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	916	930	966
0600 UTC	888	918	961
1200 UTC	850	834	897
1800 UTC	883	891	914

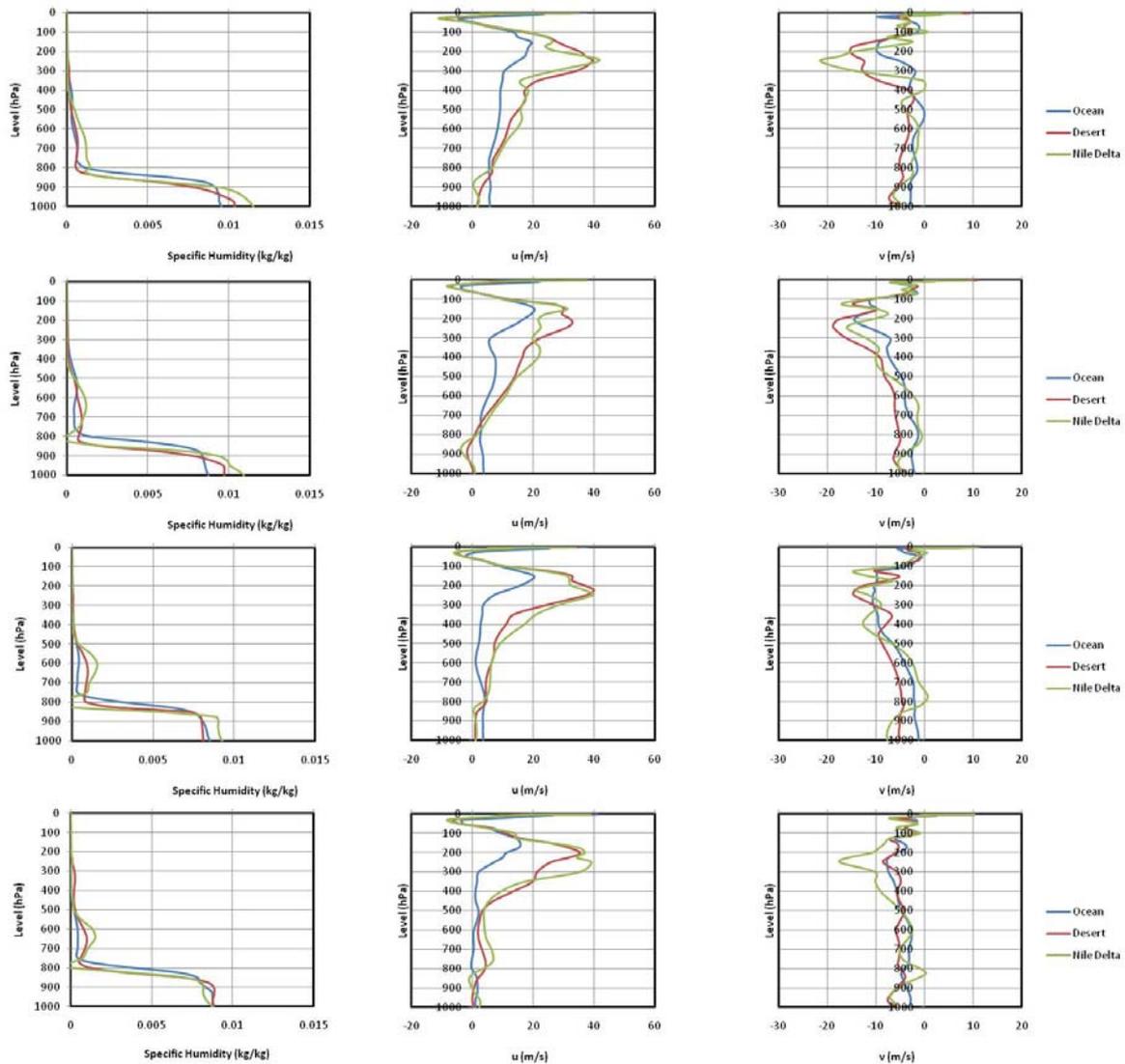


図 11 時間別気象要因高度分布 2 (2009 年 10 月 22 日)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

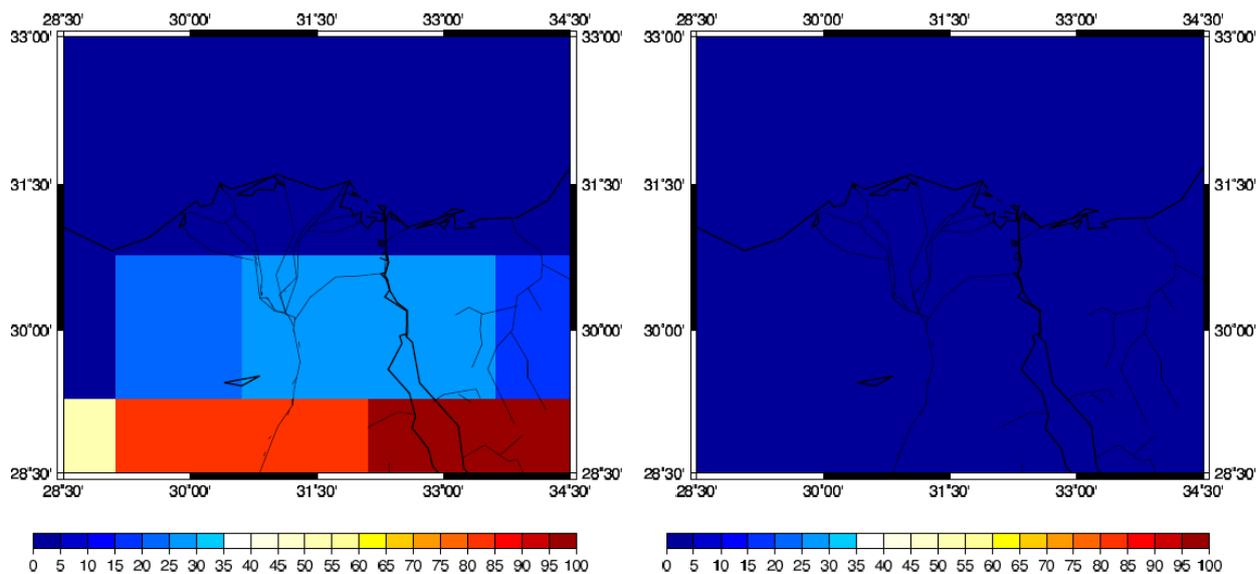


図 12 高層雲の分布図 (2009 年 10 月 22 日, 250 hPa)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

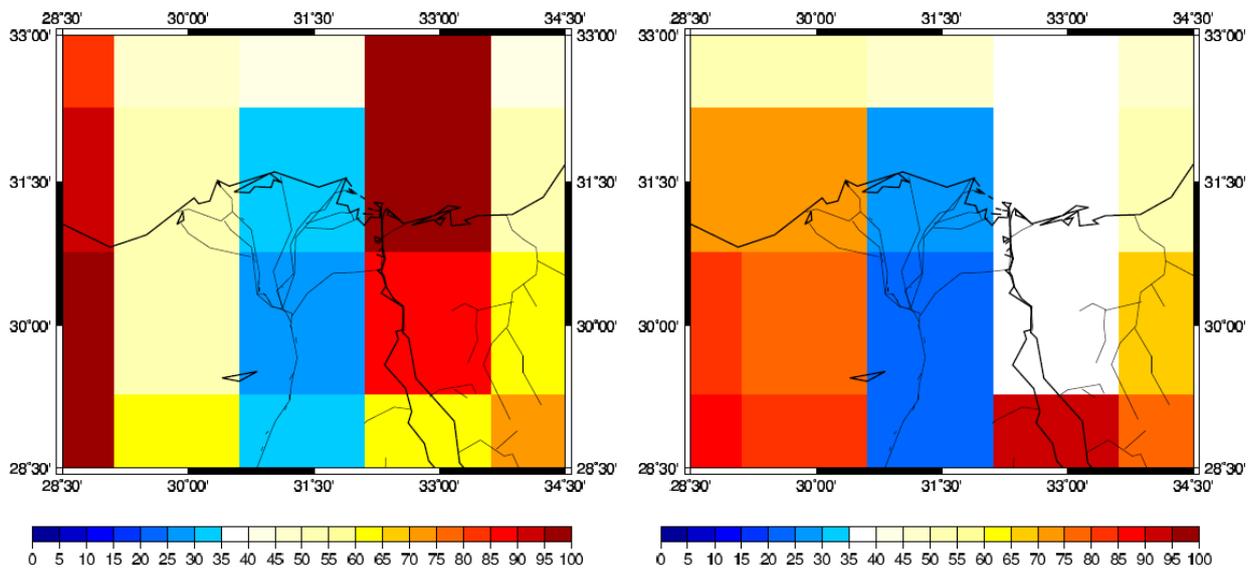
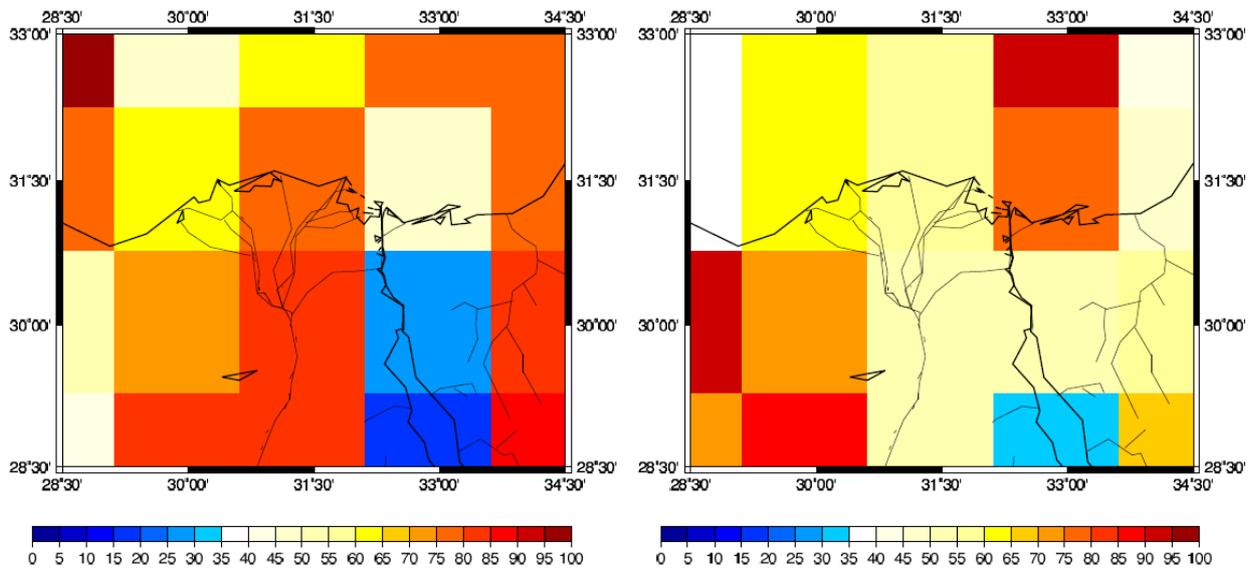


図 13 高層の相対湿度分布図 (2009 年 10 月 22 日 250 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

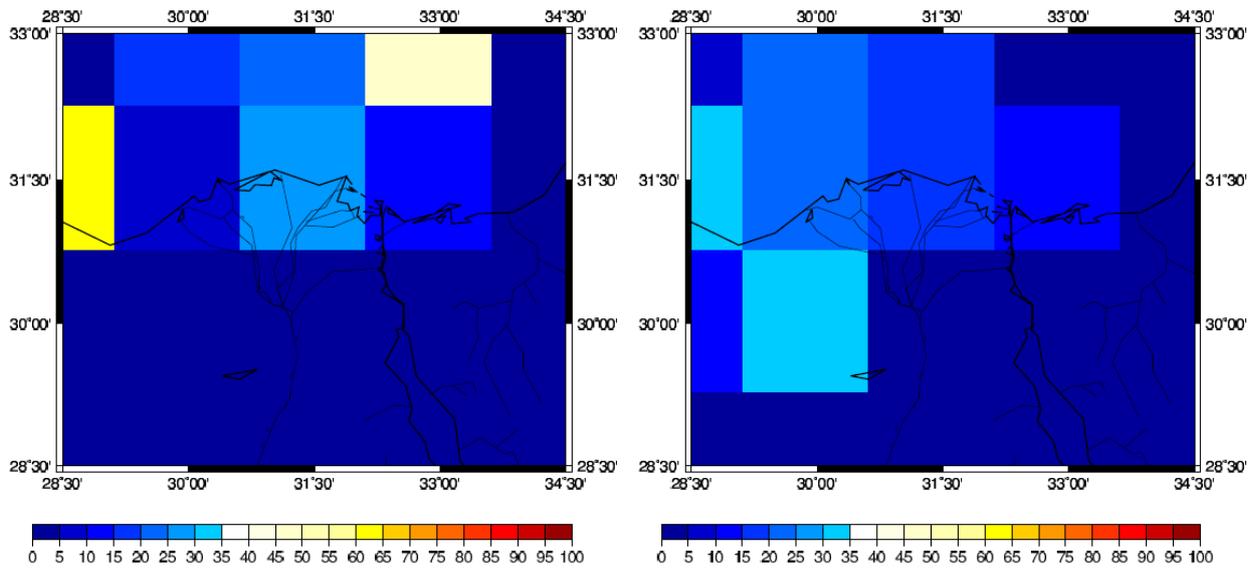
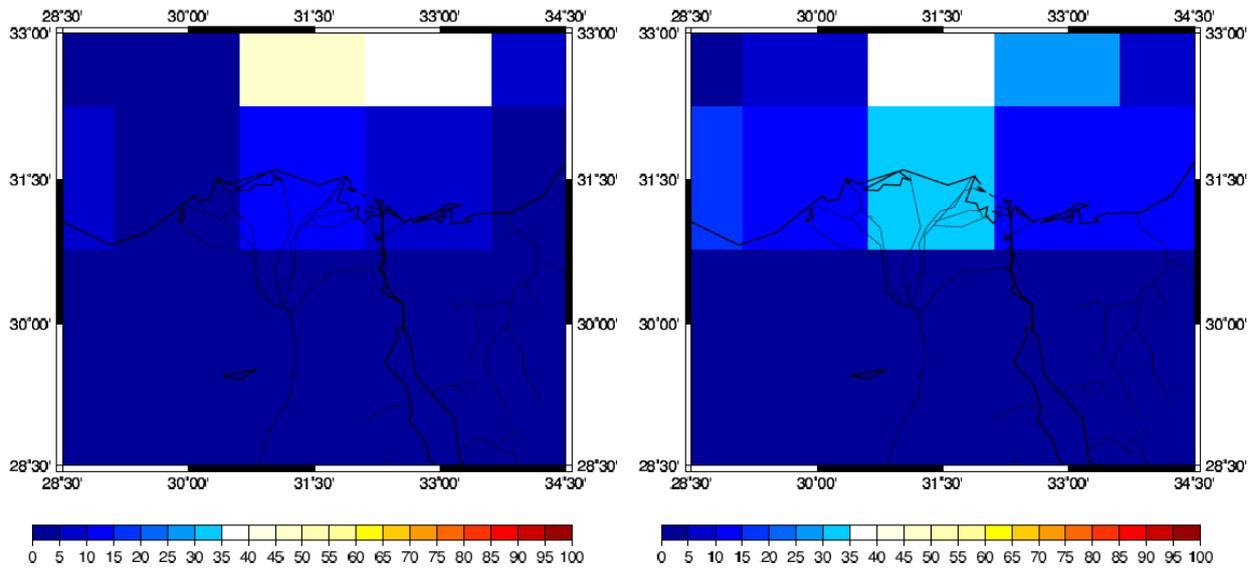


図 14 低層雲の分布図 (2009 年 10 月 22 日 850 hPa)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

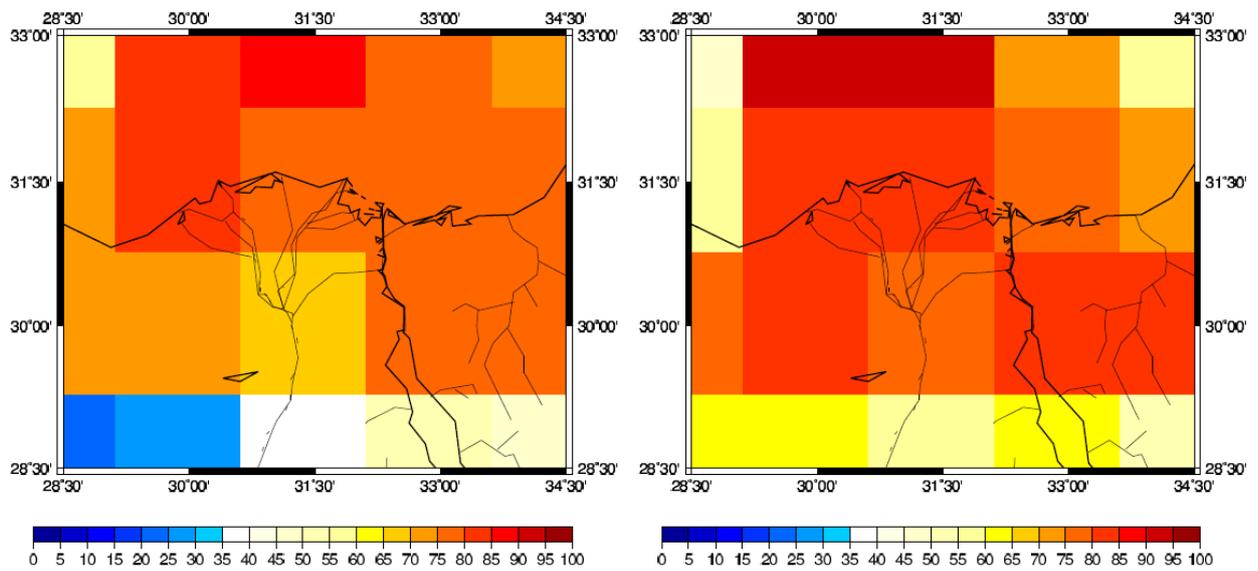
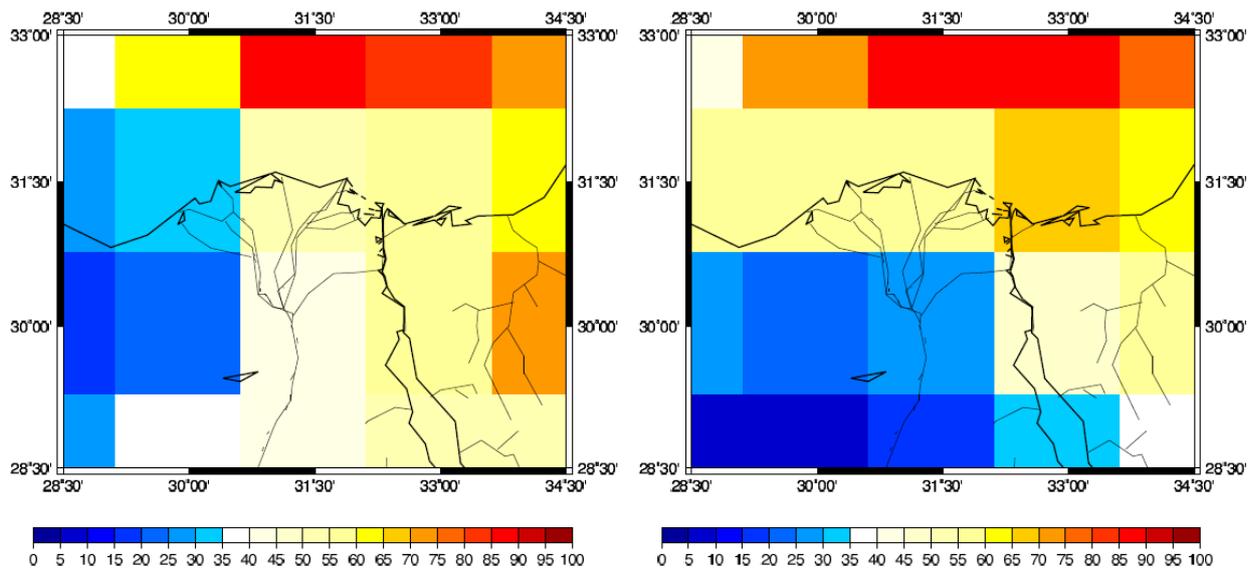


図 15 低層の相対湿度分布図 (2009 年 10 月 22 日 850 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

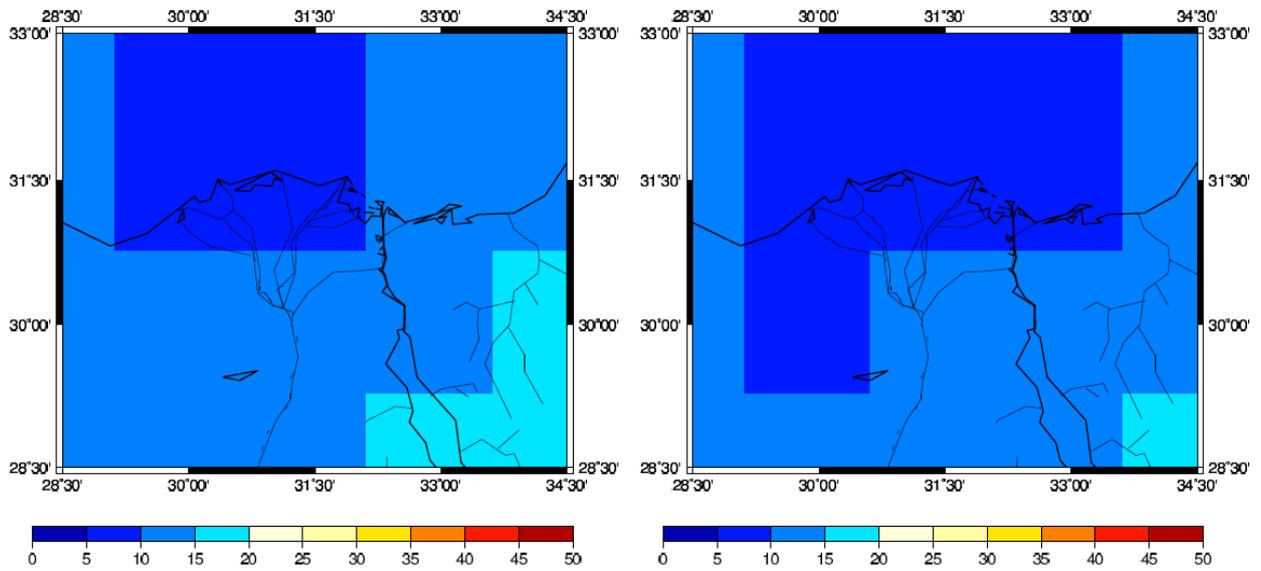
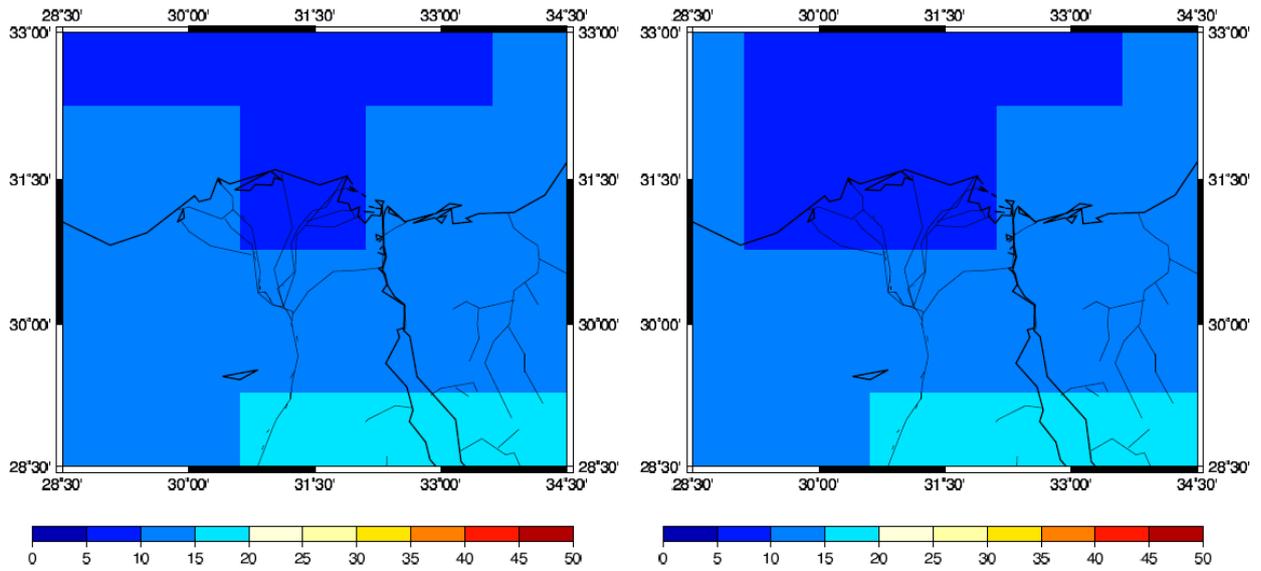


図 16 低層の気温の分布図 (2009 年 10 月 22 日, 850 hPa)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は℃

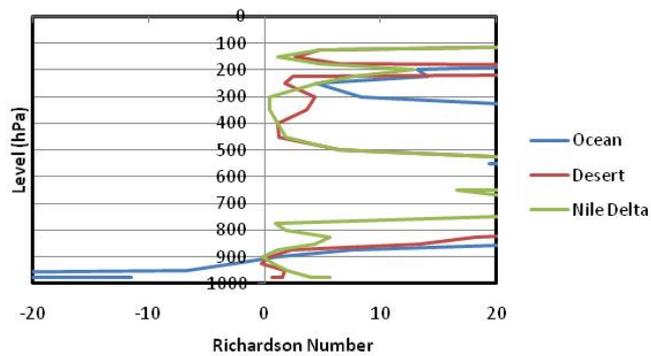
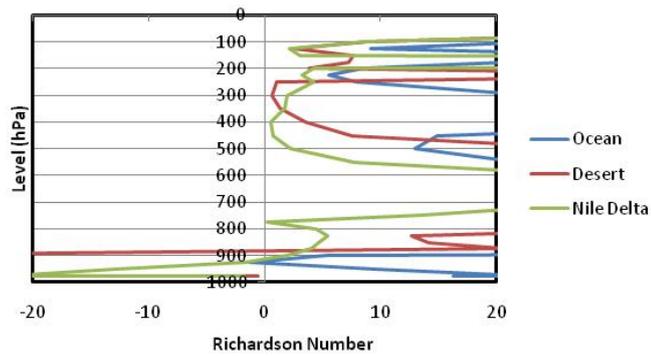
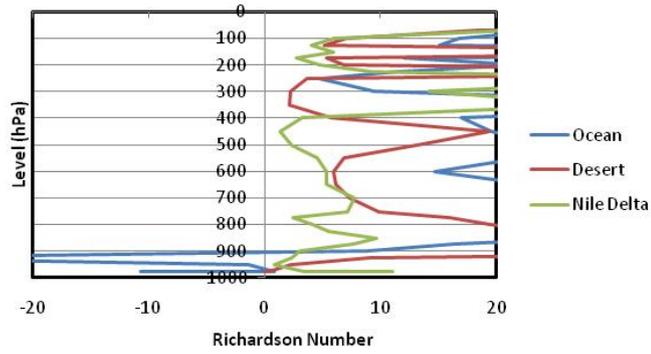
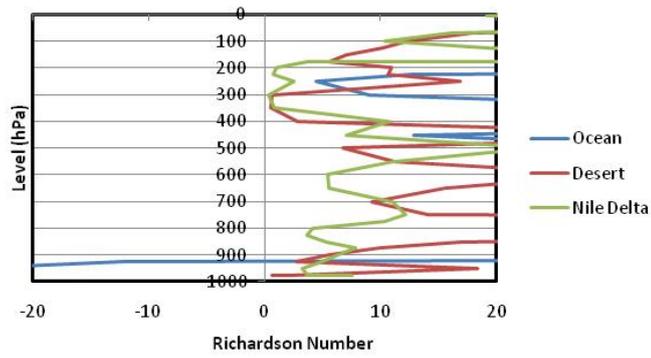


図 17 大気の安定度 (2009 年 10 月 22 日)

上から 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

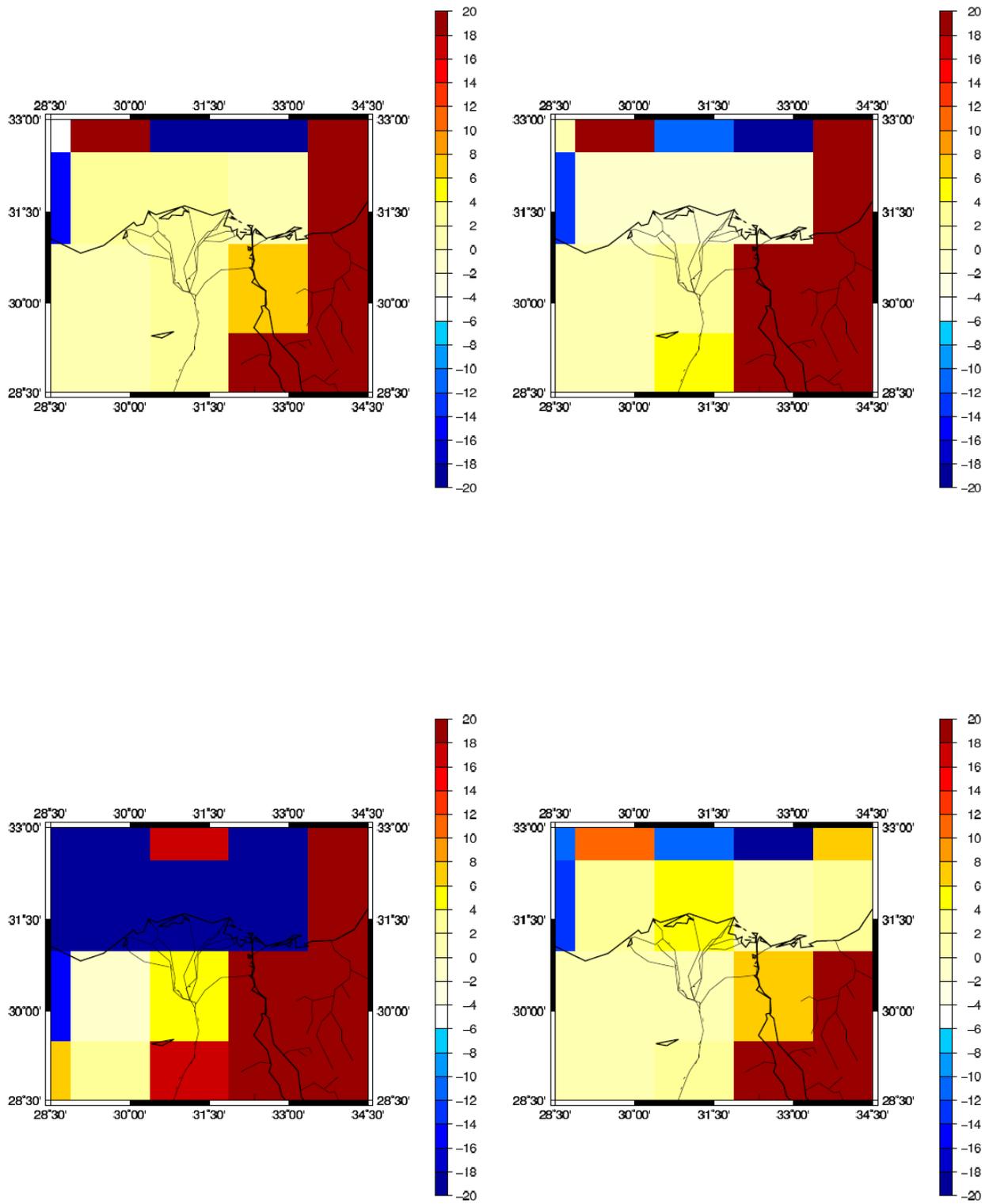


図 18 大気安定度の分布図 (2009 年 10 月 22 日, 987.5 hPa)  
 左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

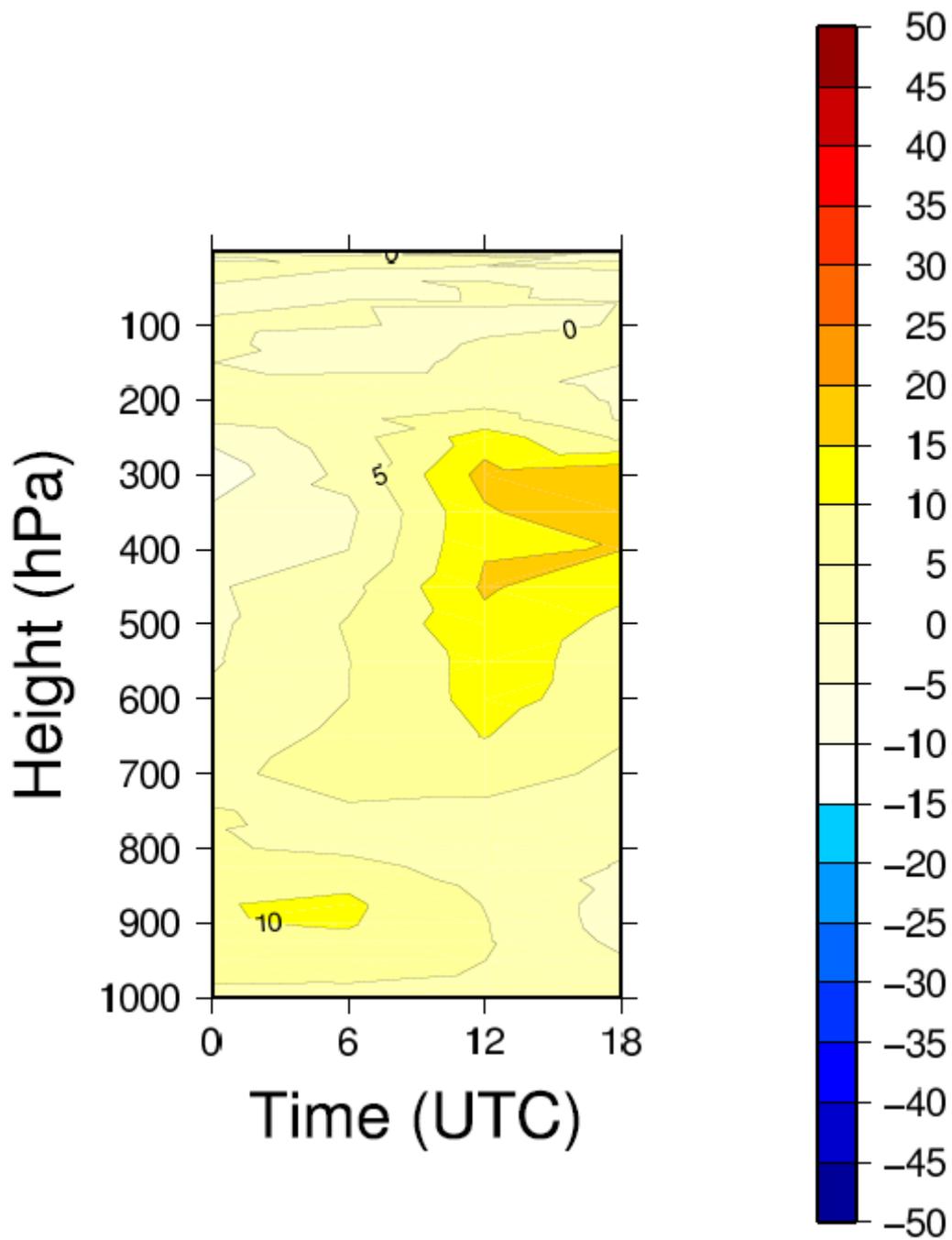


図 19 海上での鉛直風速 (2009 年 10 月 22 日)

正が下降流, 負が上昇流

単位は  $\times 10^{-3}$  m/s

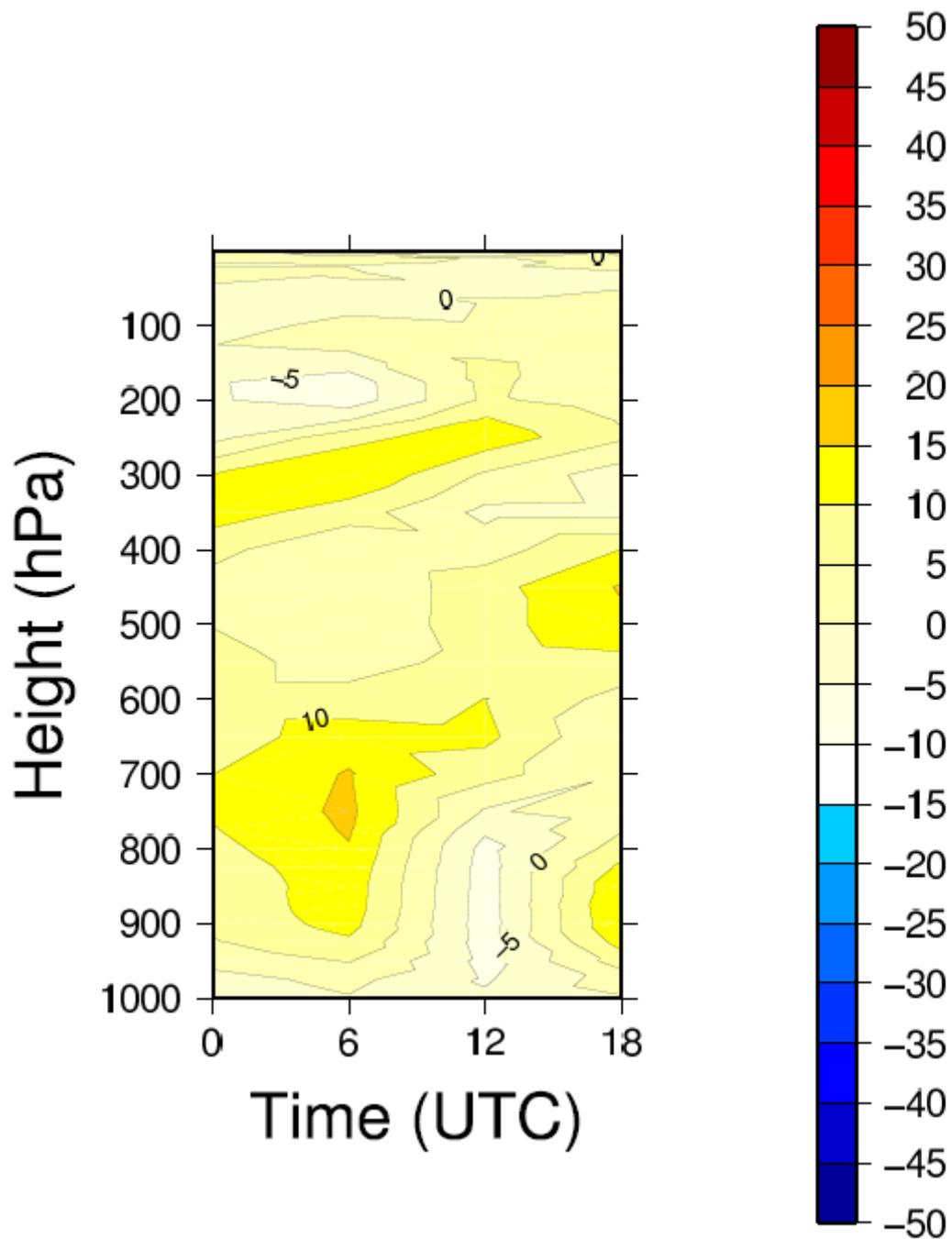


図 20 砂漠上での鉛直風速 (2009 年 10 月 22 日)

正が下降流, 負が上昇流

単位は  $\times 10^{-3}$  m/s

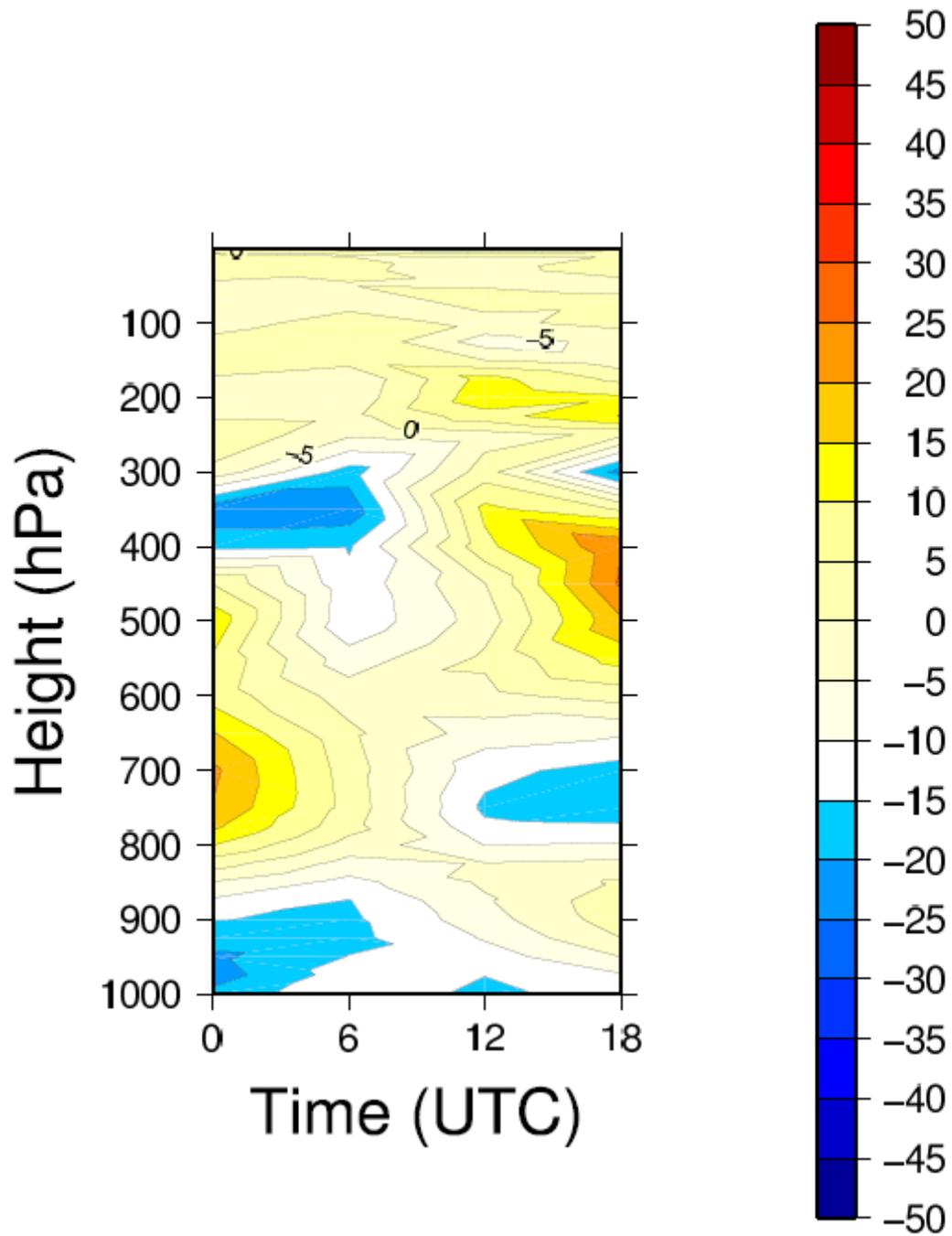


図 21 ナイルデルタ上での鉛直風速 (2009年10月22日)

正が下降流, 負が上昇流

単位は $\times 10^{-3}$  m/s

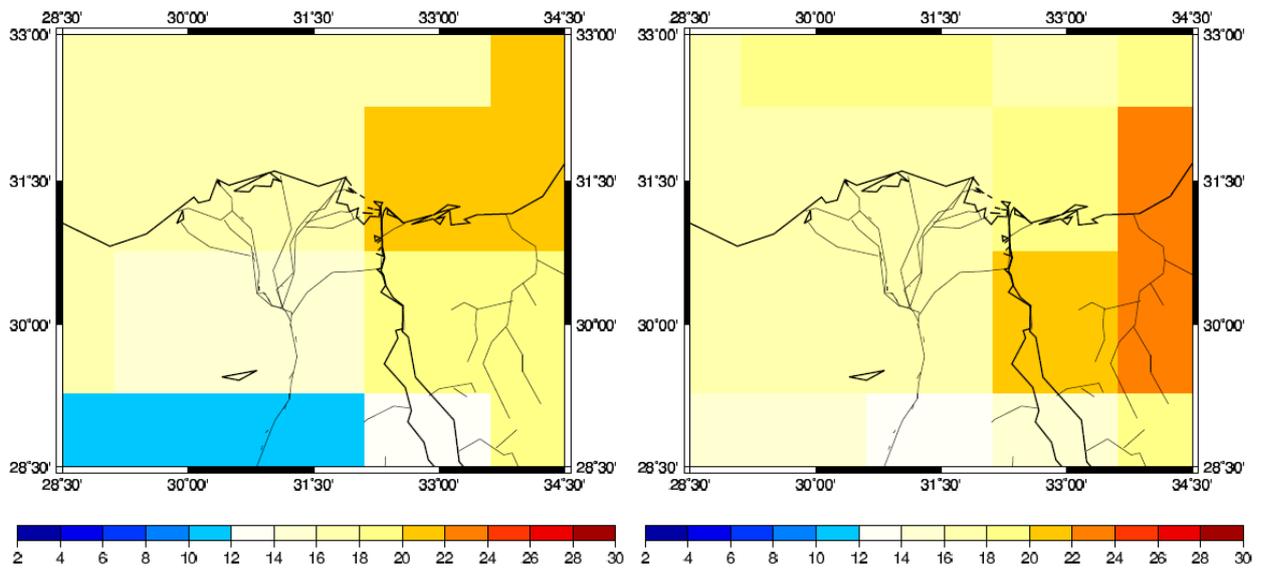
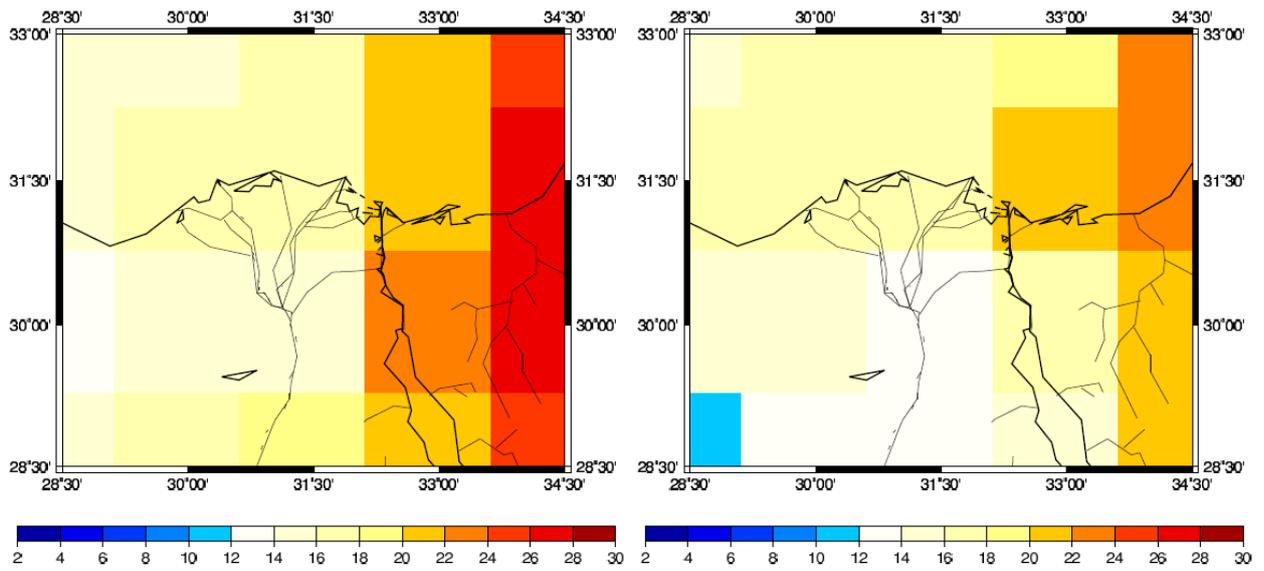


図 22 可降水量の分布図 (2009 年 10 月 22 日)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は mm

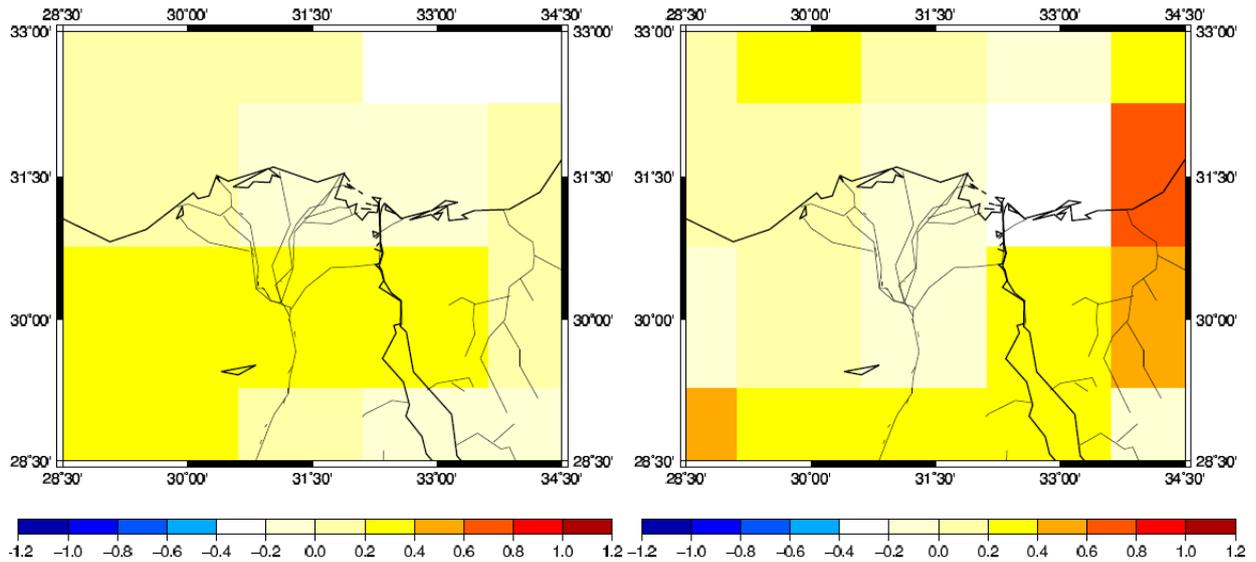
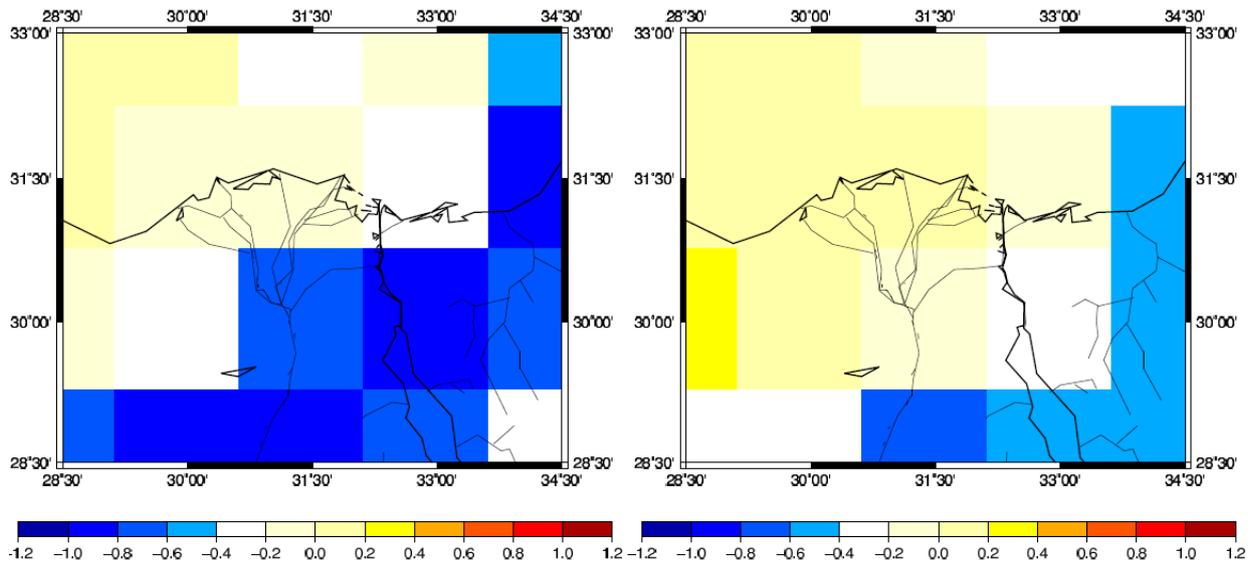


図 23 可降水量の時間変化分布図 (2009 年 10 月 22 日)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

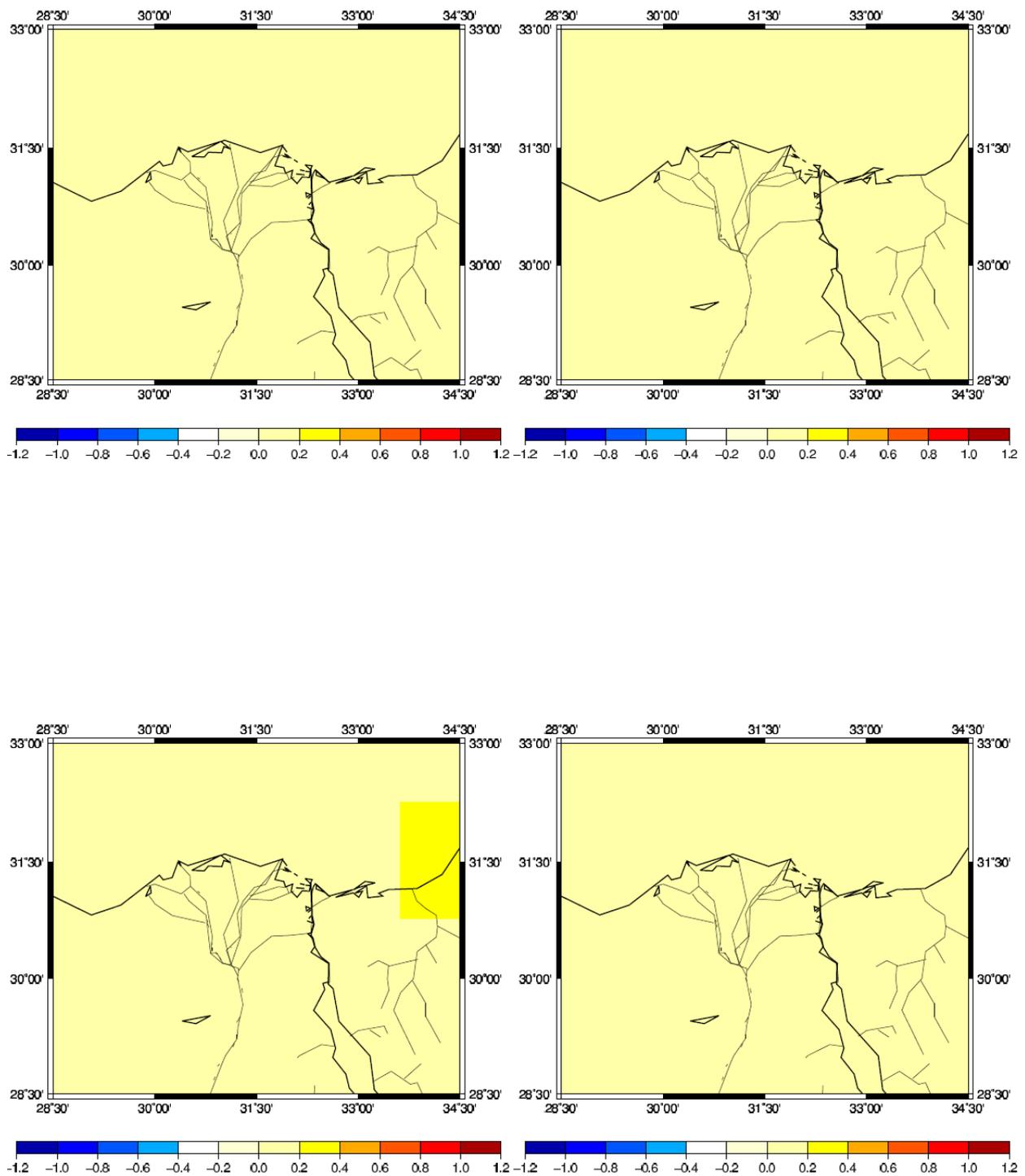


図 24 降水量の分布 (2009 年 10 月 22 日)

左上 : 0000 UTC (前の日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC のデータの平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~0700 UTC のデータの平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC のデータの平均)

右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC のデータの平均)

単位は mm/hour

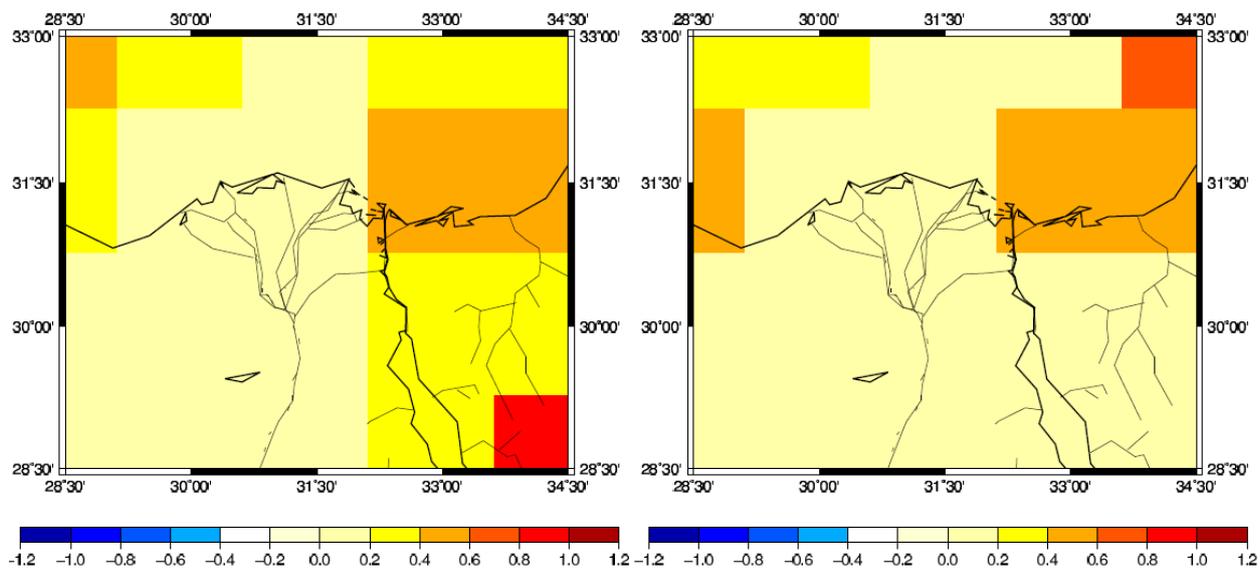
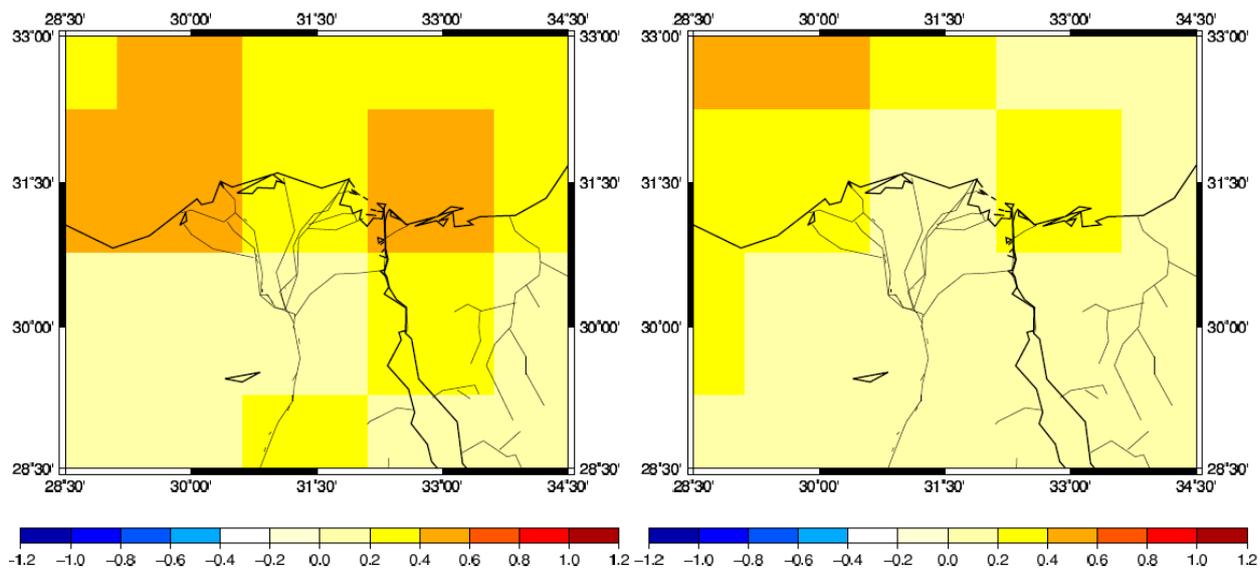


図 25 蒸発散量の分布図 (2009 年 10 月 22 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

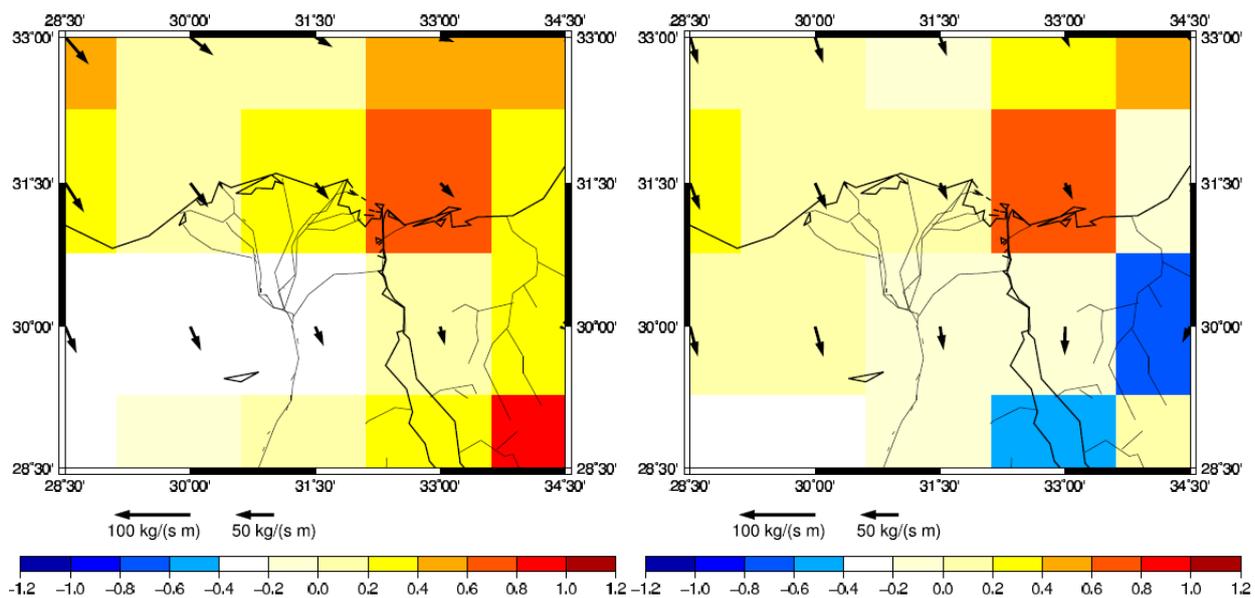
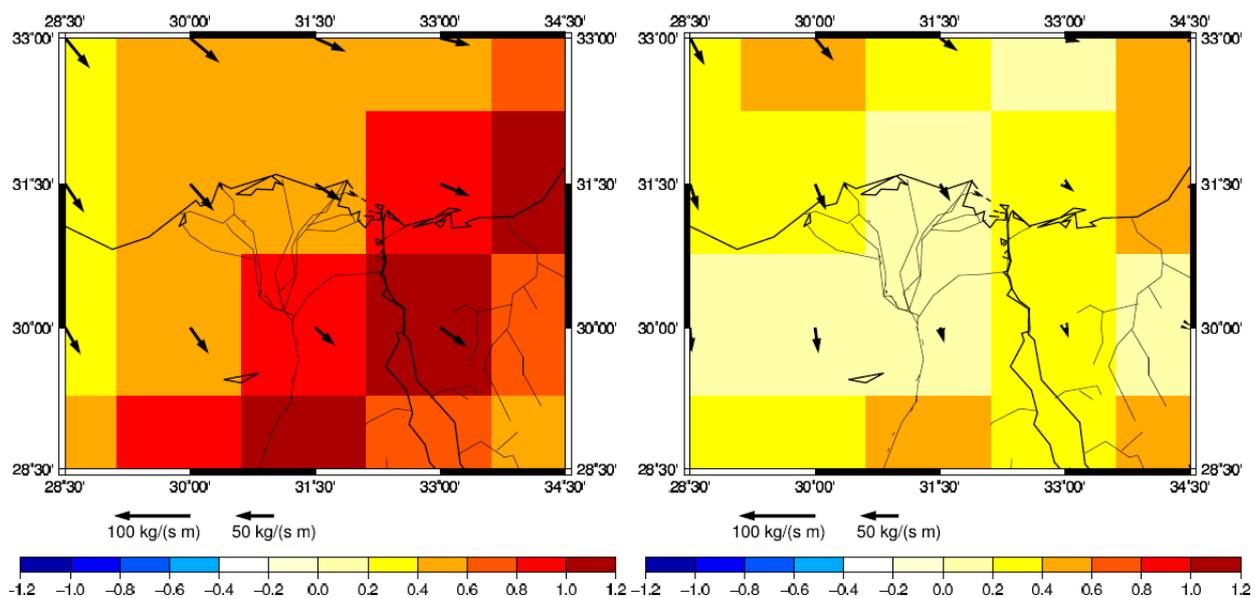


図 26 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2009 年 10 月 22 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す.

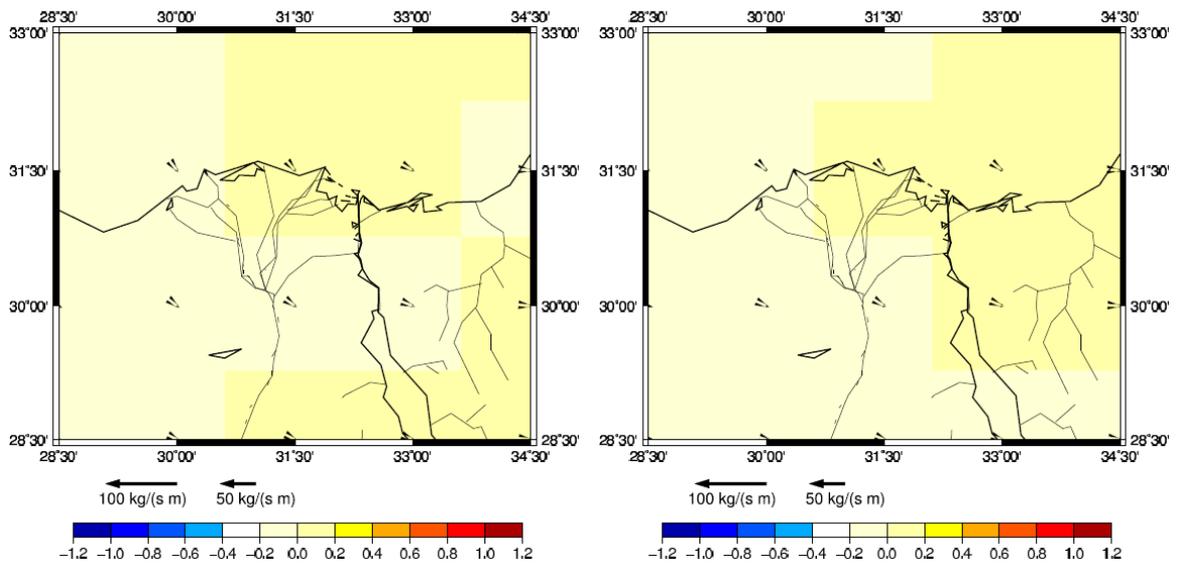
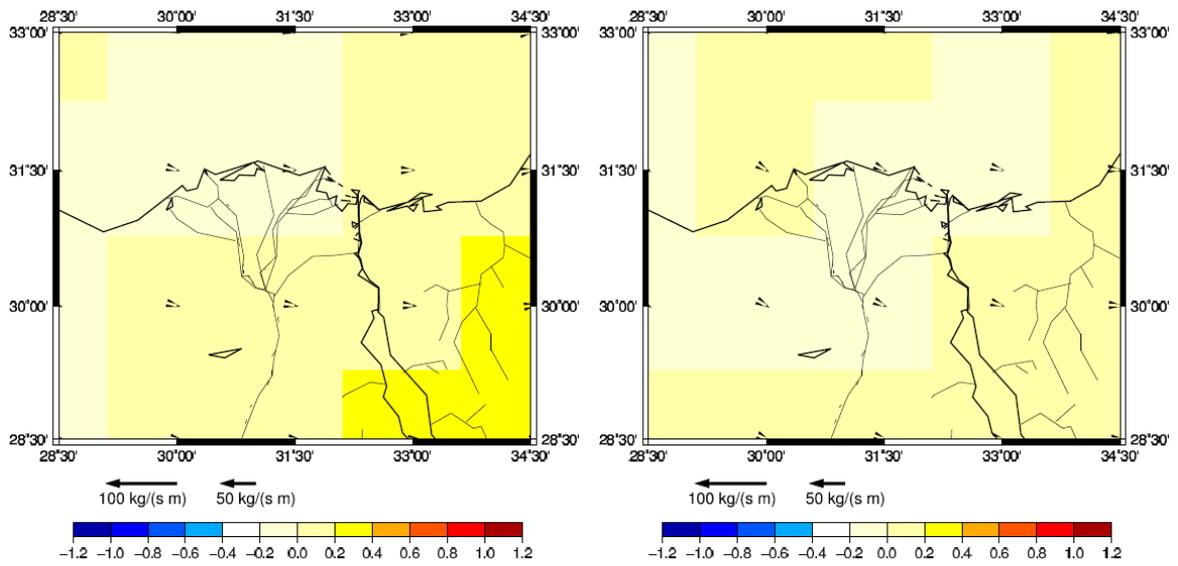


図 27 1 hPa から 600 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2009 年 10 月 22 日)  
 左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC  
 矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す。

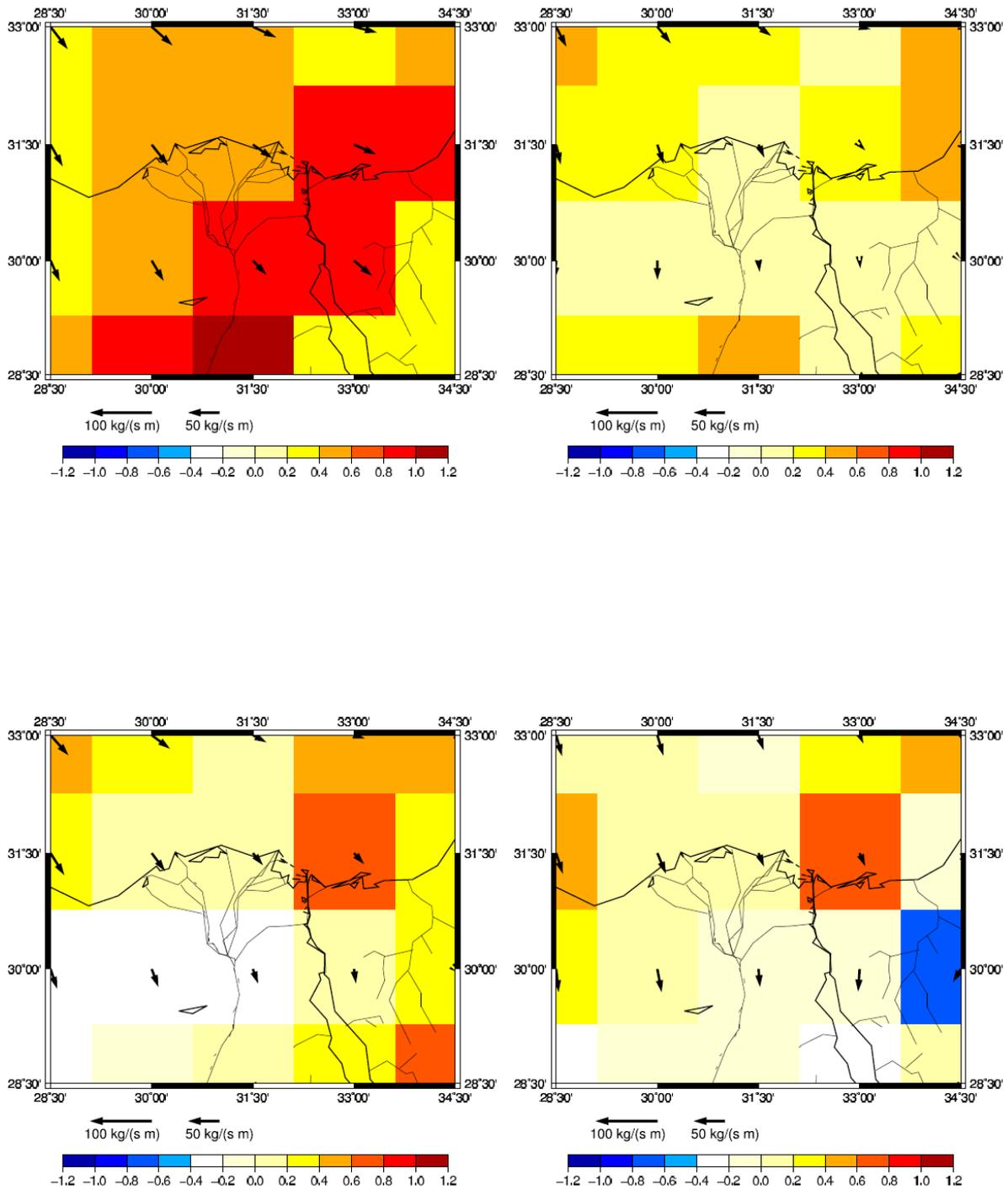


図 28 600 hPa から 1000 hPa までの水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2009 年 10 月 22 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す.

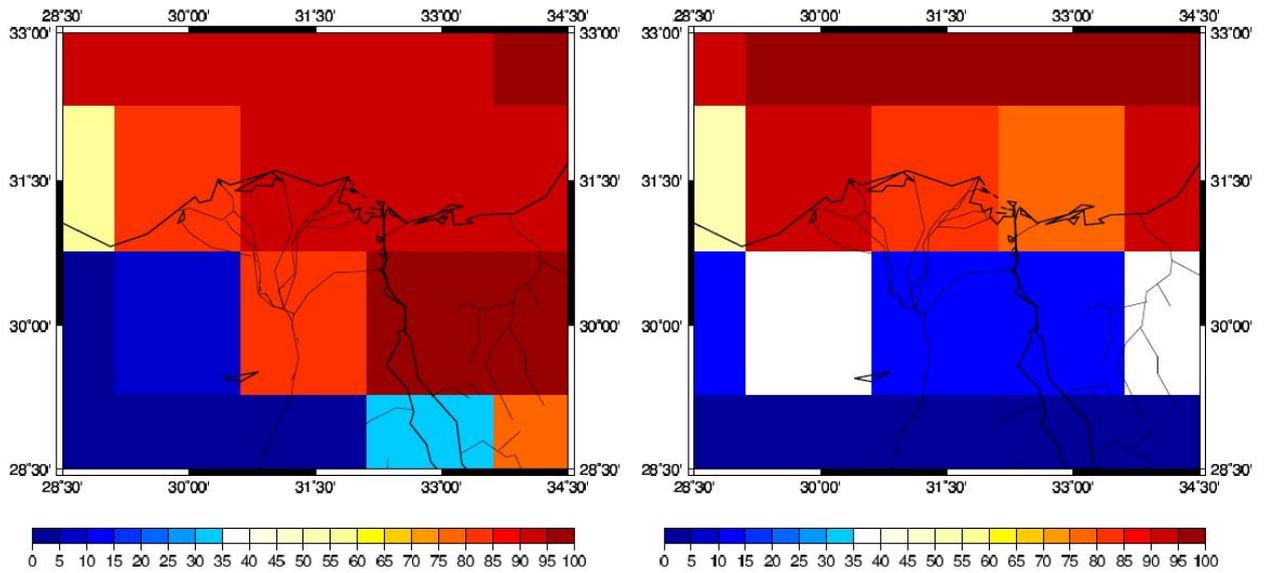
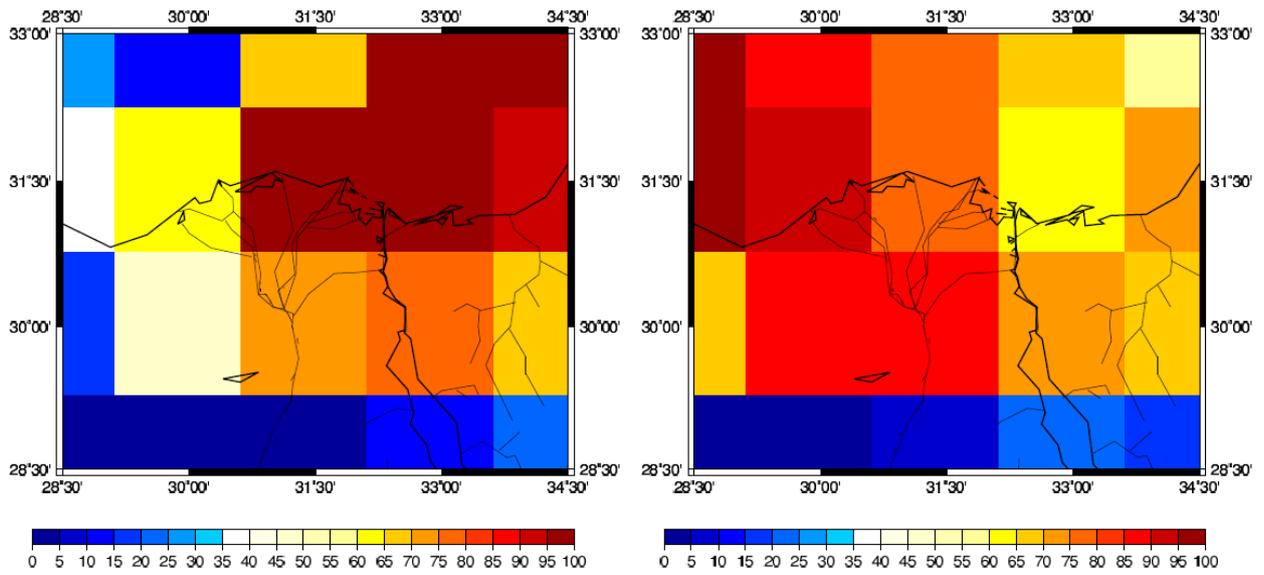


図 29 全雲量の分布 (2010 年 1 月 11 日)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

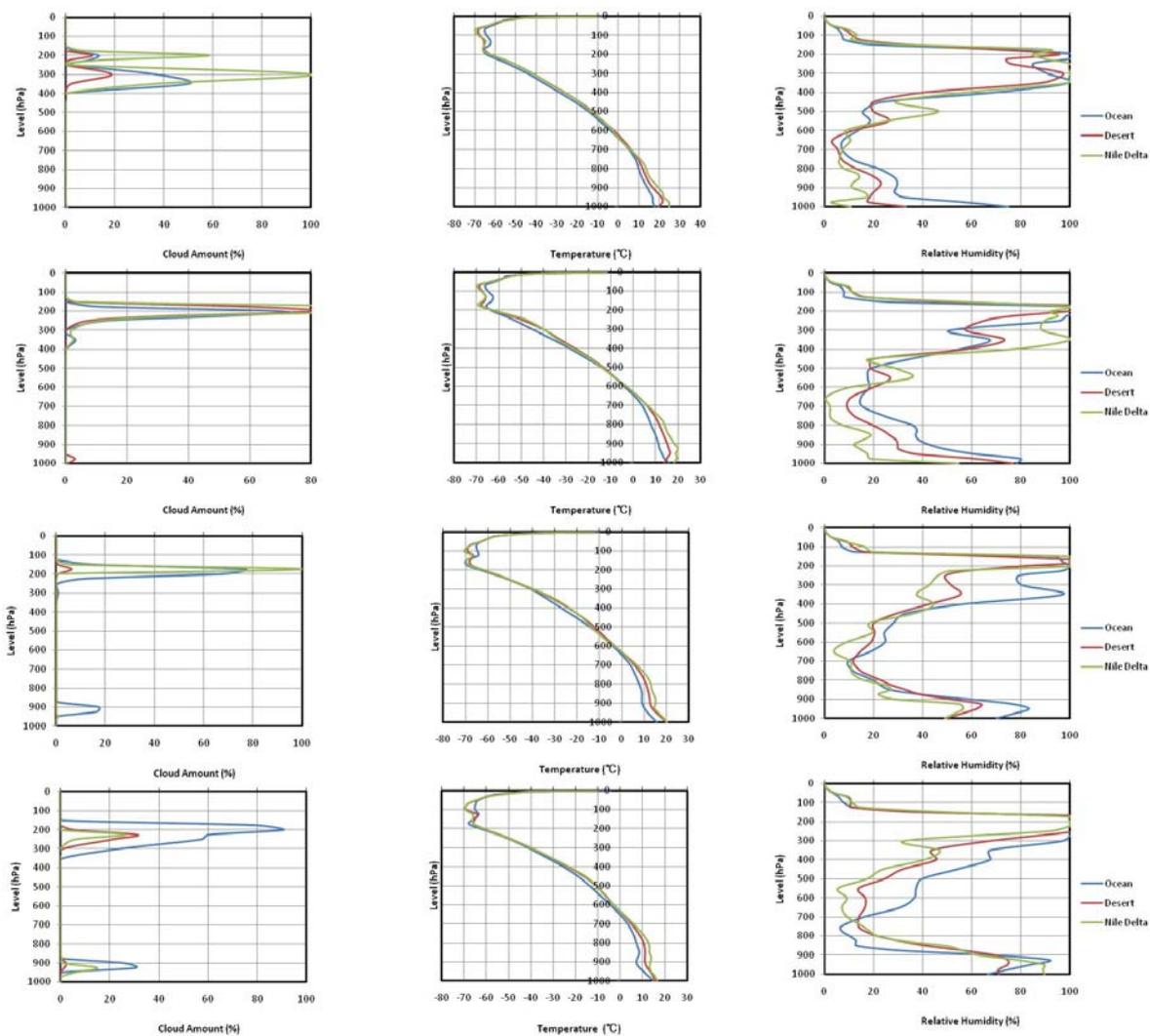


図 30 時間別気象要因高度分布 (2010 年 1 月 11 日)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 3 持ち上げ凝結高度 (2010 年 1 月 11 日, hPa)

Time	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	958	793	1122
0600 UTC	939	945	922
1200 UTC	903	861	883
1800 UTC	921	931	973

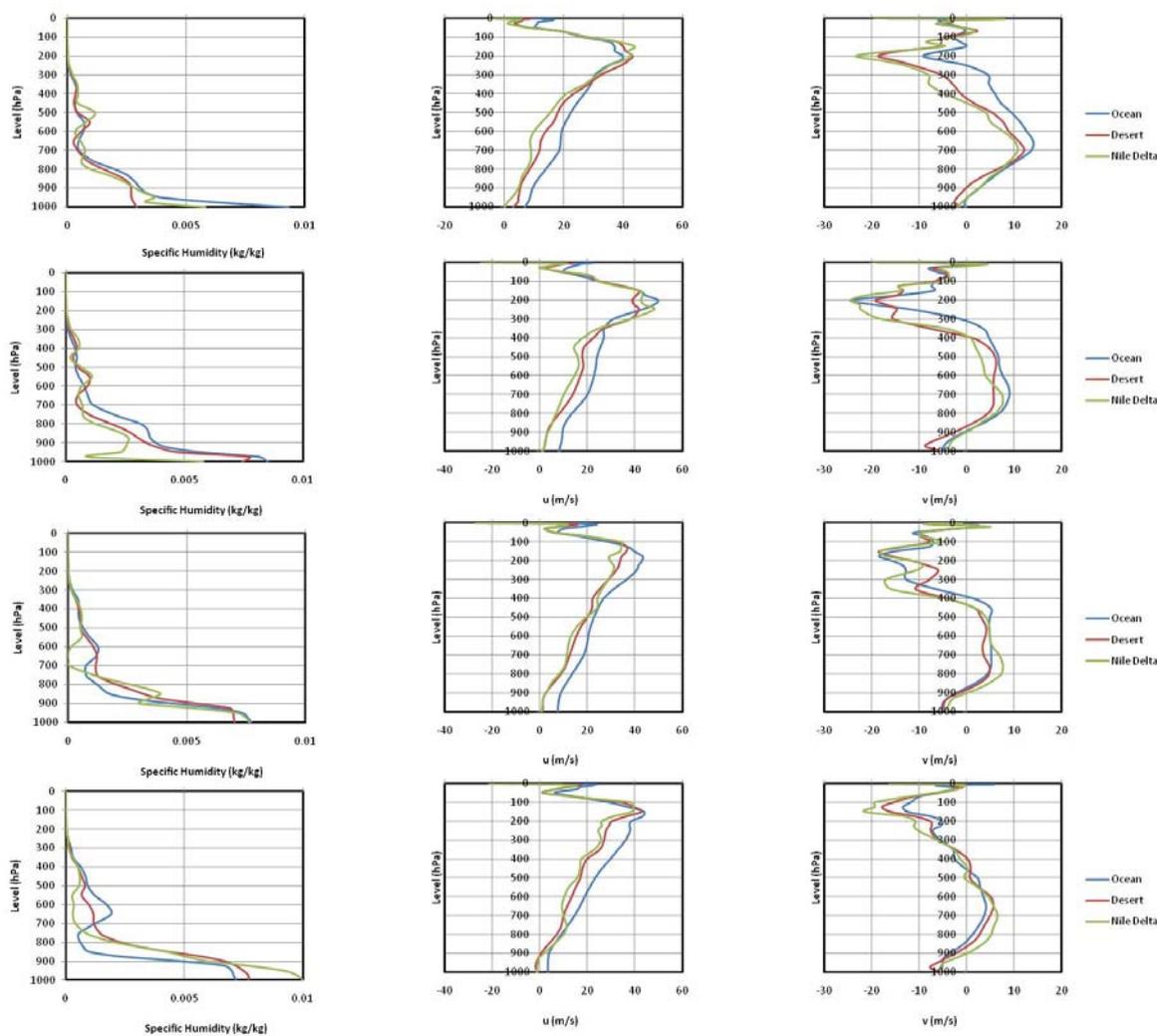


図 31 時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 1 月 11 日)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

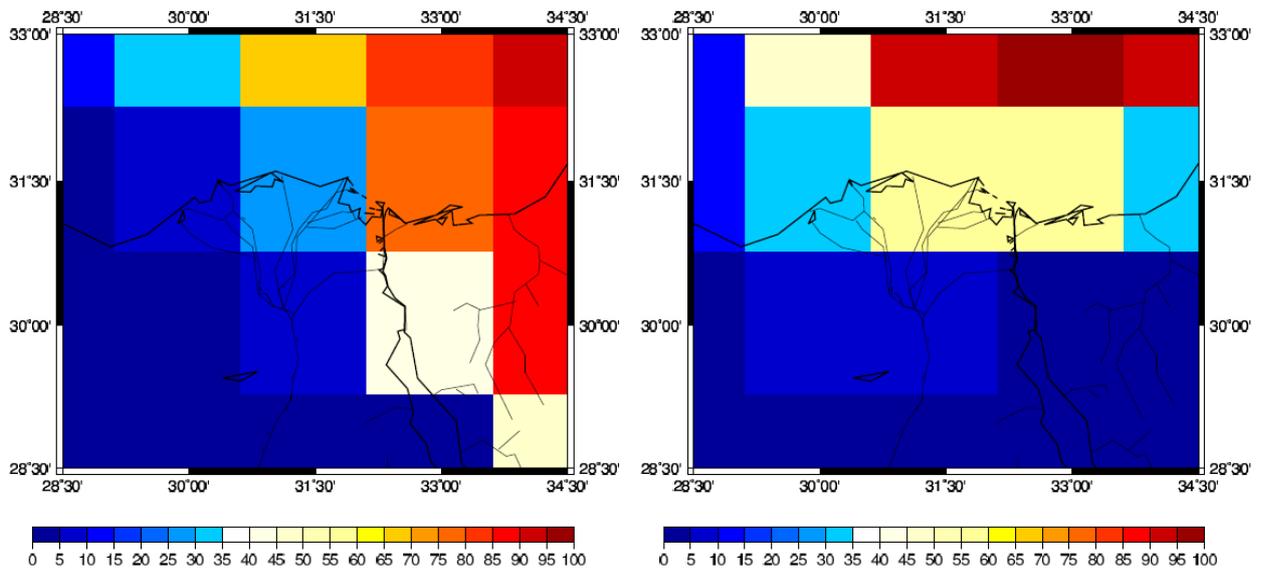
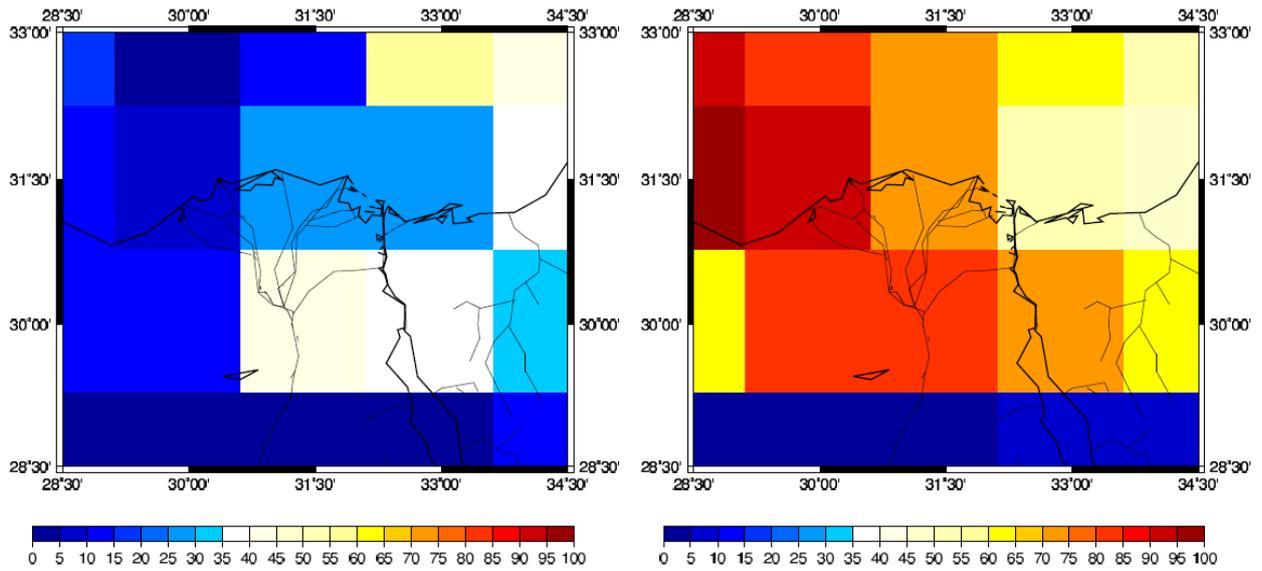


図 32 高層雲の分布図 (2010 年 1 月 11 日 200 hPa)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

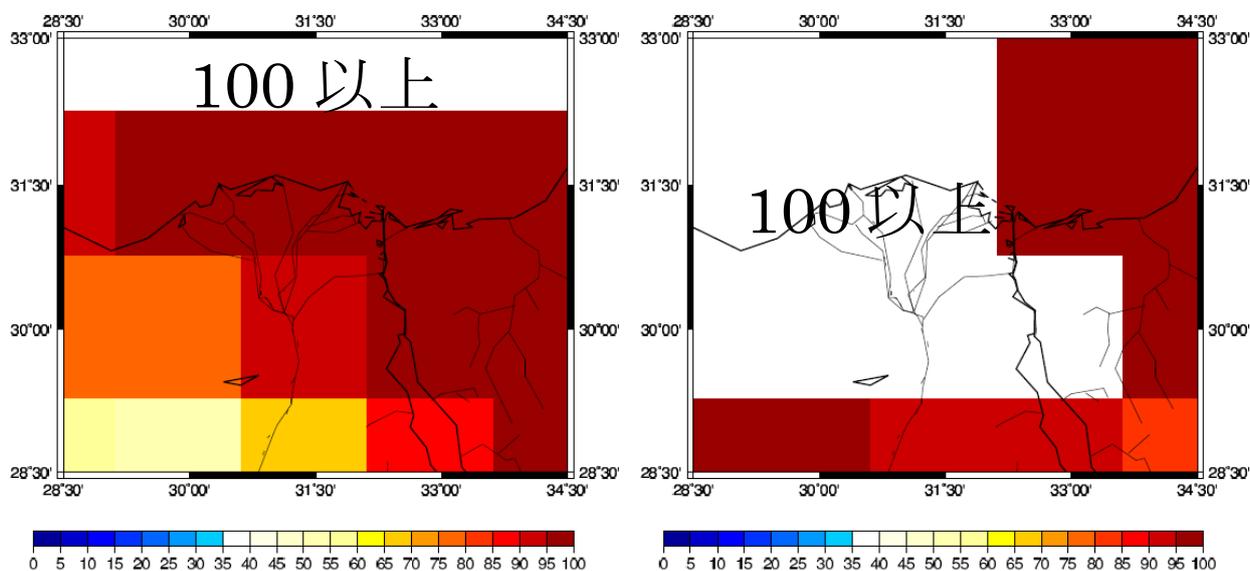
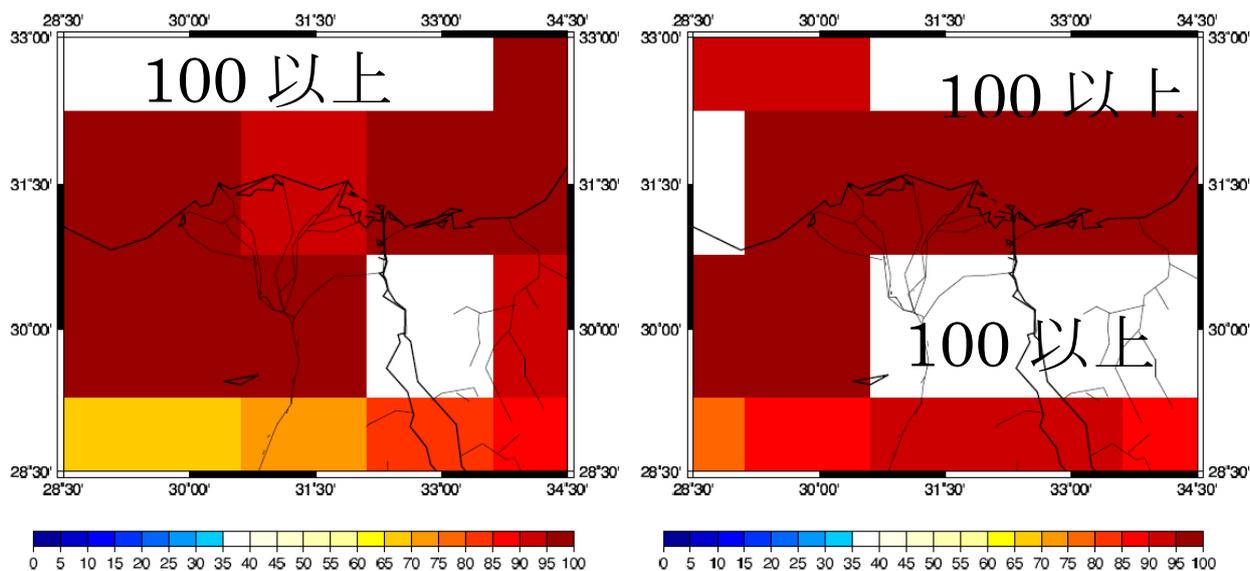


図 33 高層の相対湿度分布図 (2010 年 1 月 11 日 200 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

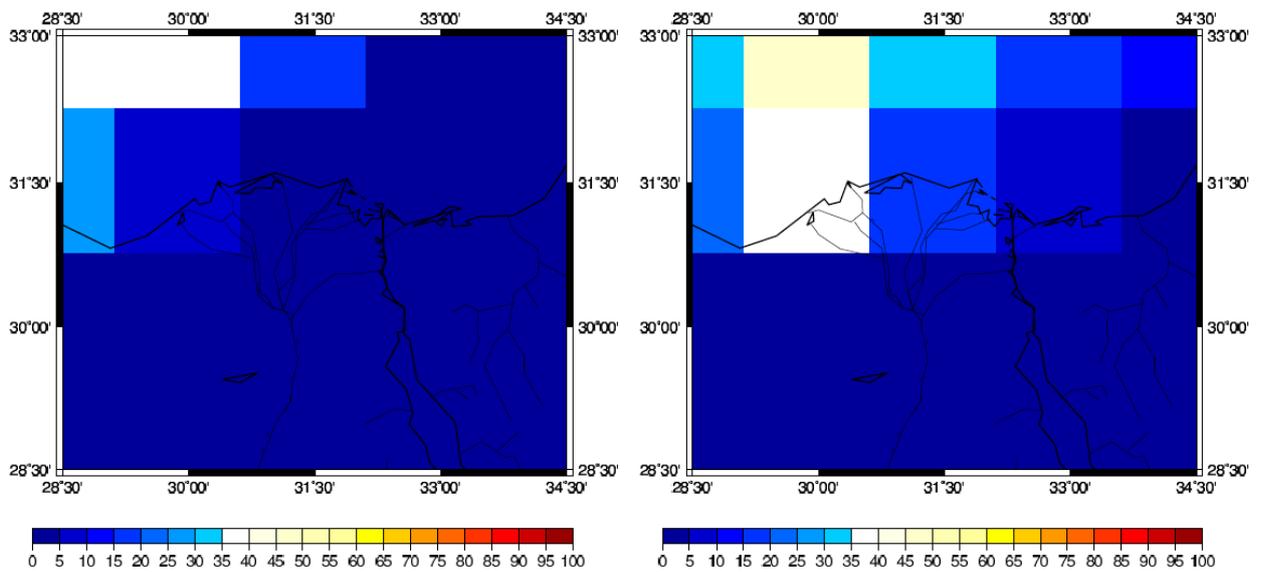
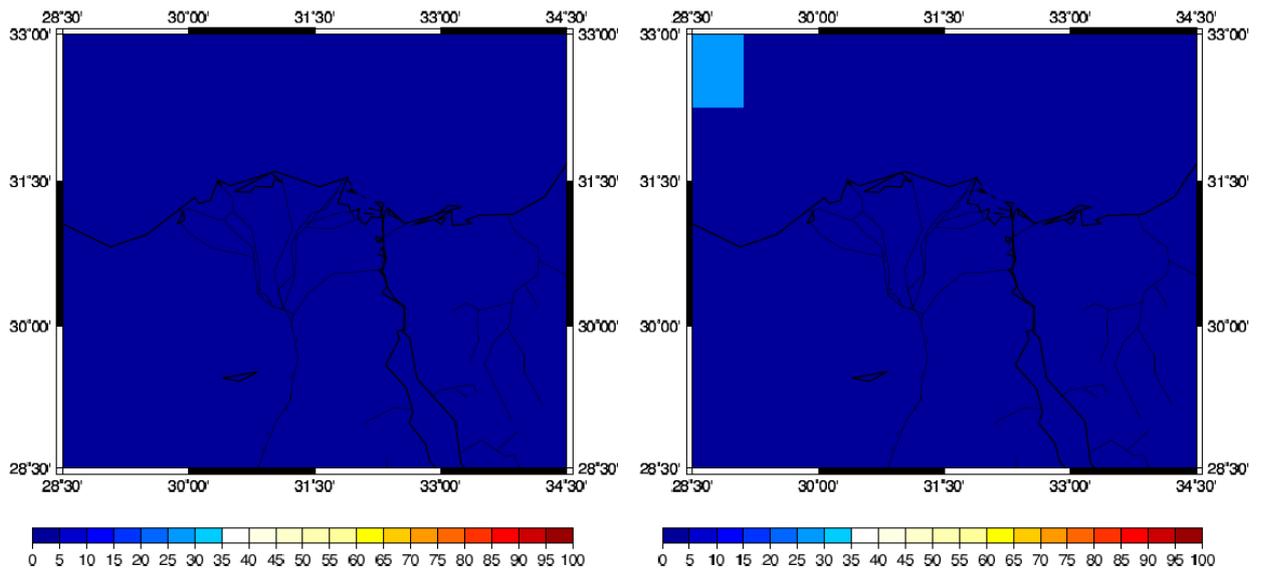


図 34 低層雲の分布図 (2010 年 1 月 11 日 925 hPa)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

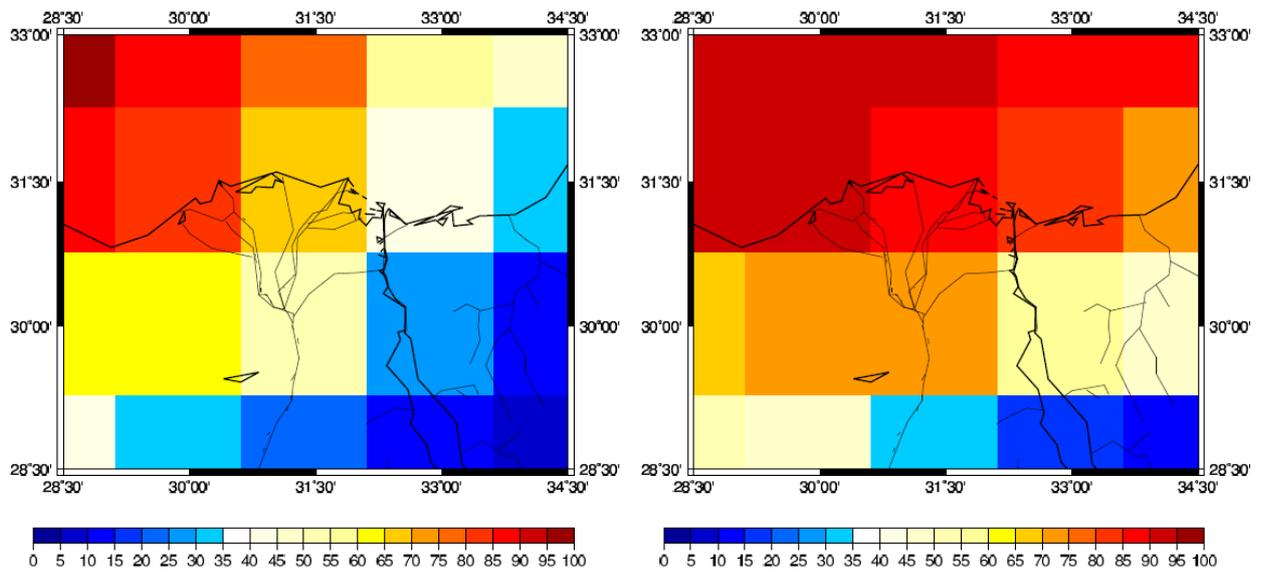
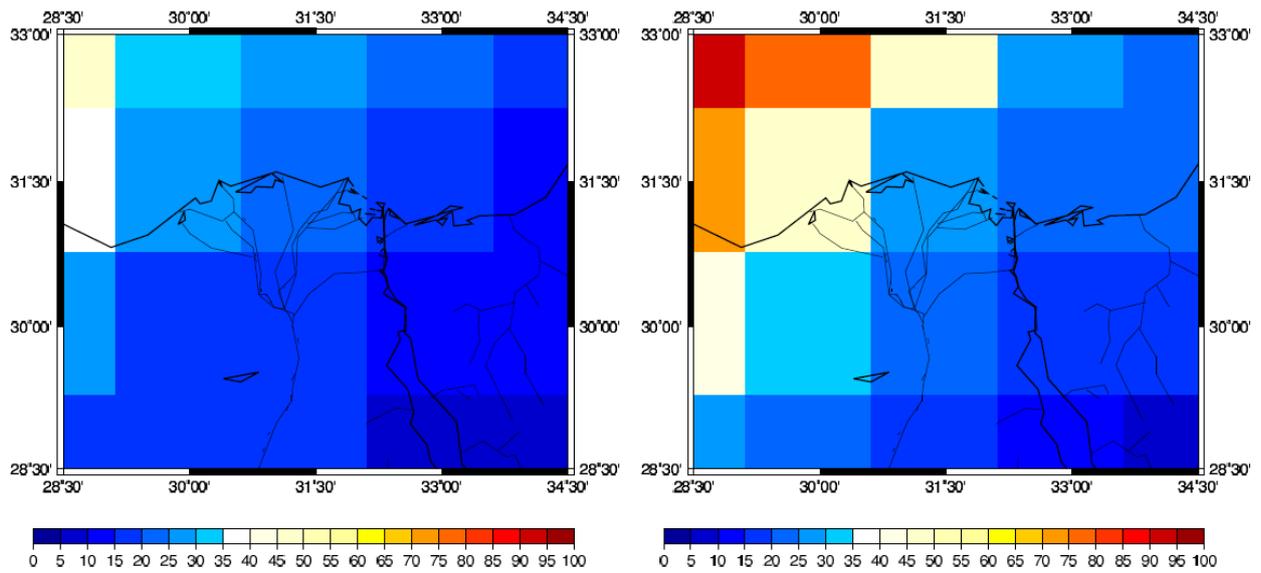


図 35 低層の相対湿度分布図 (2010 年 1 月 11 日 925 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

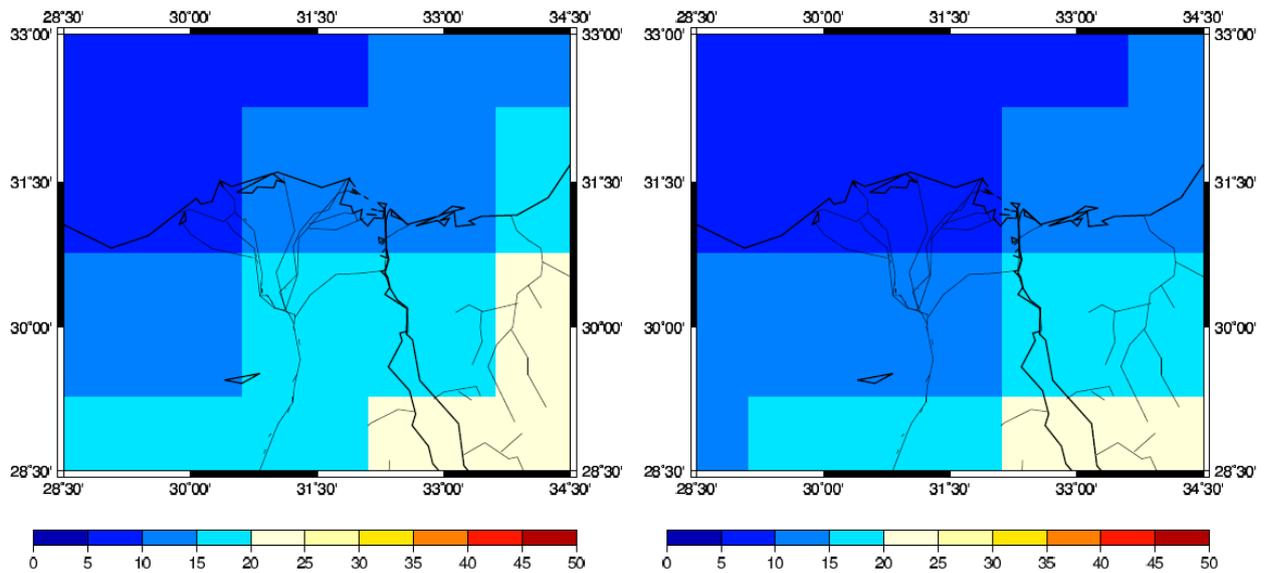
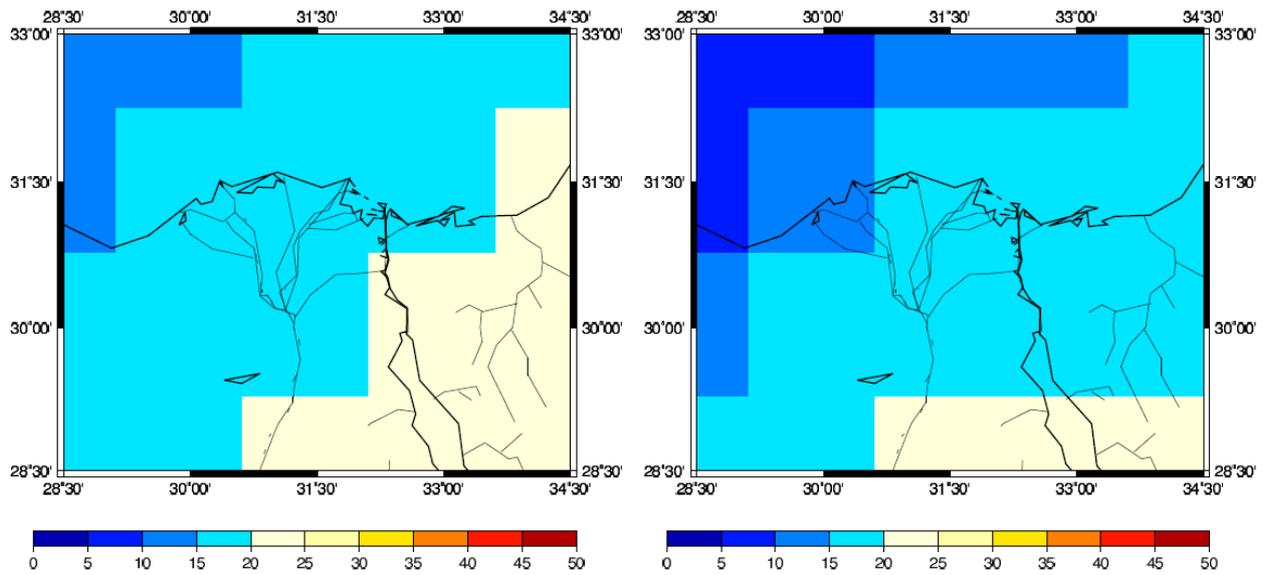


図 36 低層の気温の分布図 (2010 年 1 月 11 日, 925 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は°C

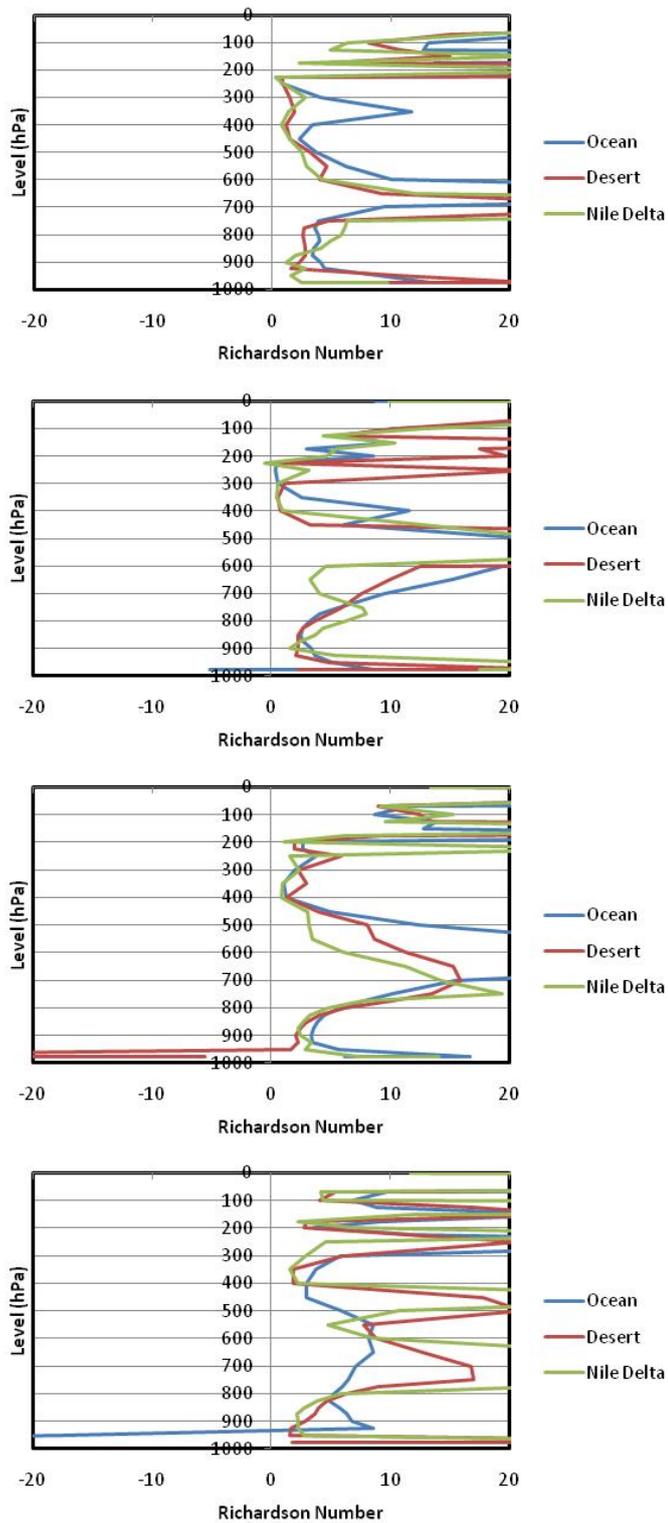


図 37 大気の安定度 (2010 年 1 月 11 日)

上から 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

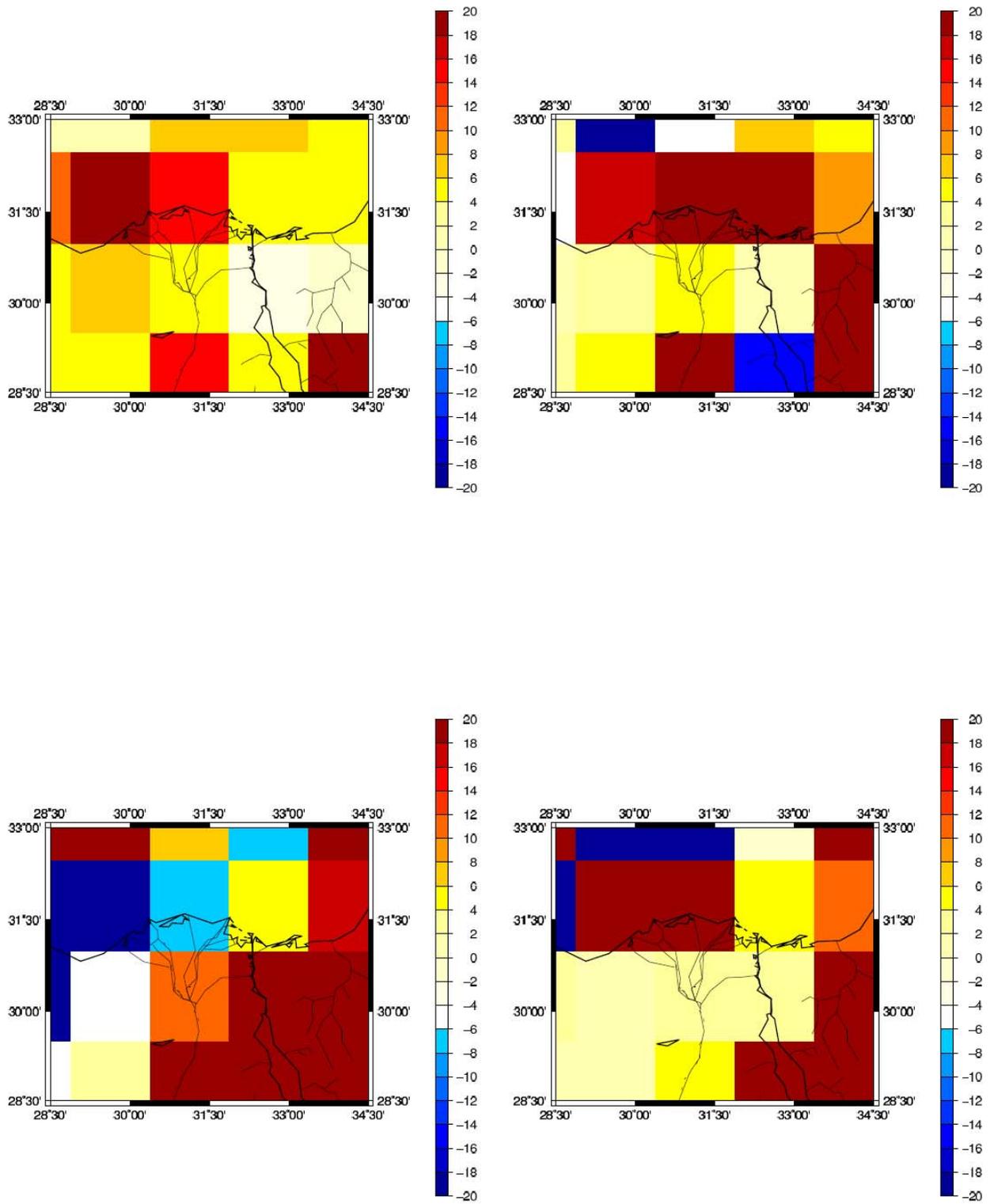


図 38 大気安定度の分布図 (2010 年 1 月 11 日, 987.5 hPa)  
 左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

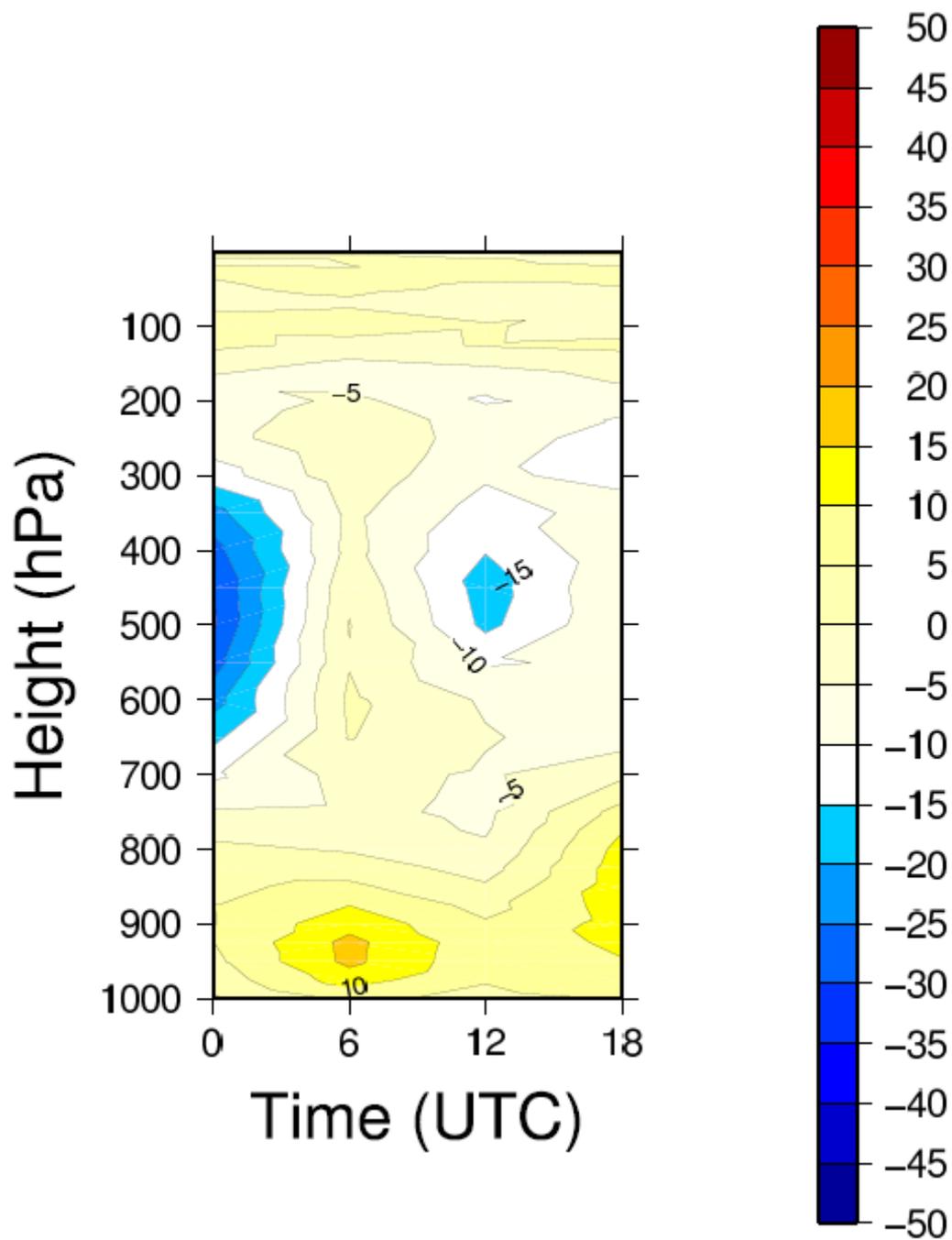


図 39 海上での鉛直風速 (2010 年 1 月 11 日)

正が下降流, 負が上昇流

単位は  $\times 10^{-3}$  m/s

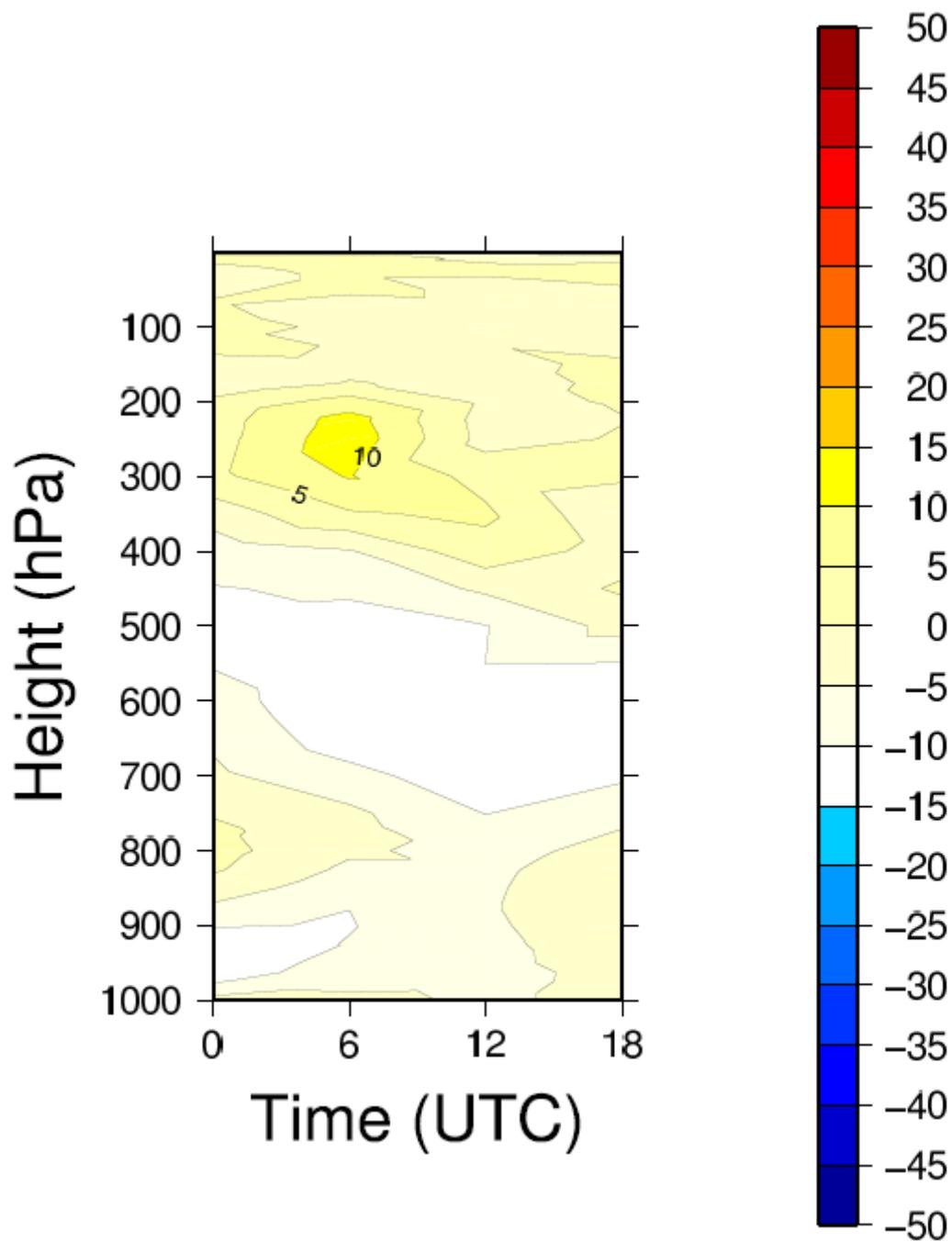


図 40 砂漠上での鉛直風速 (2010 年 1 月 11 日)

正が下降流, 負が上昇流

単位は  $\times 10^{-3}$  m/s

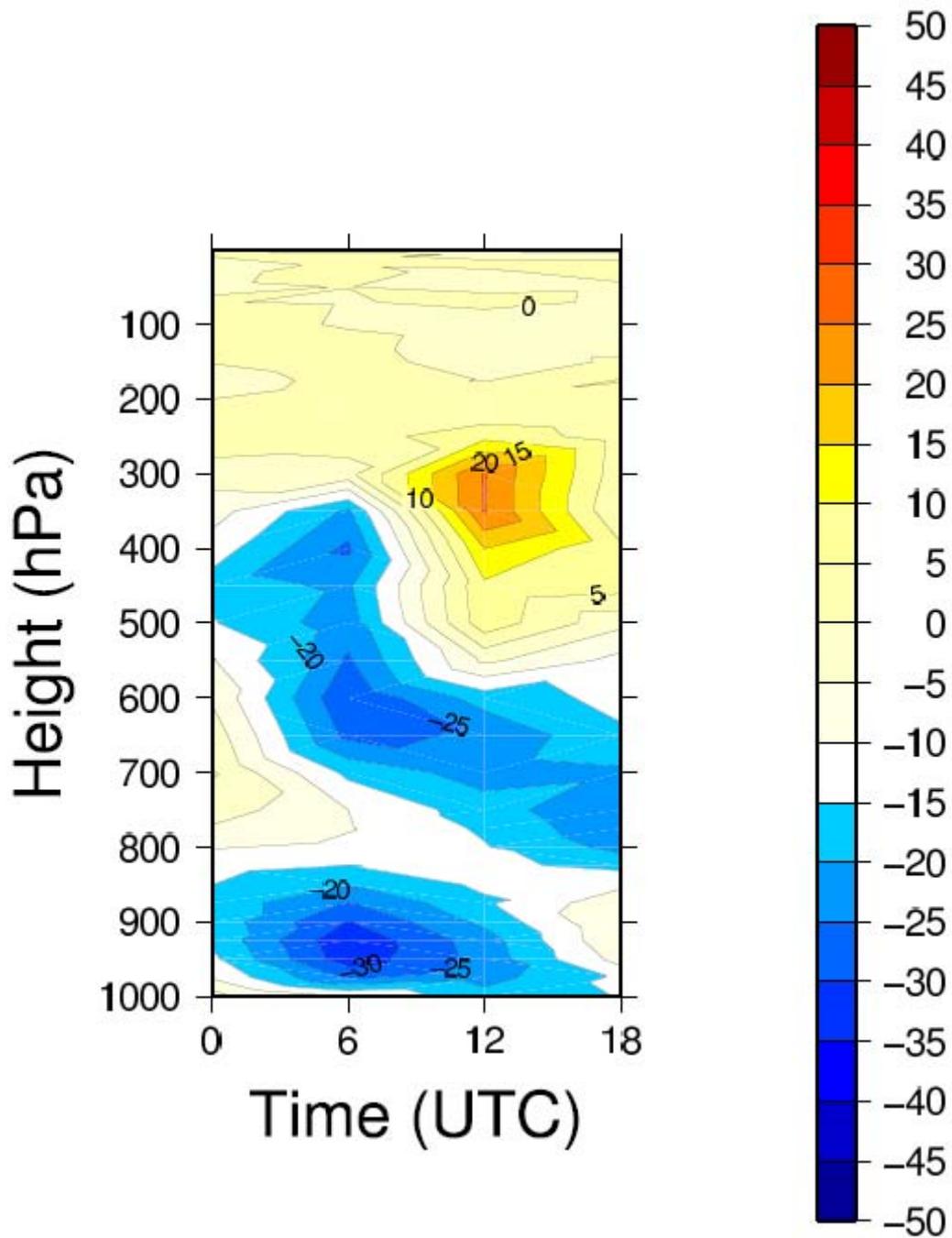


図 41 ナイルデルタ上での鉛直風速 (2010 年 1 月 11 日)

正が下降流, 負が上昇流

単位は  $\times 10^{-3}$  m/s

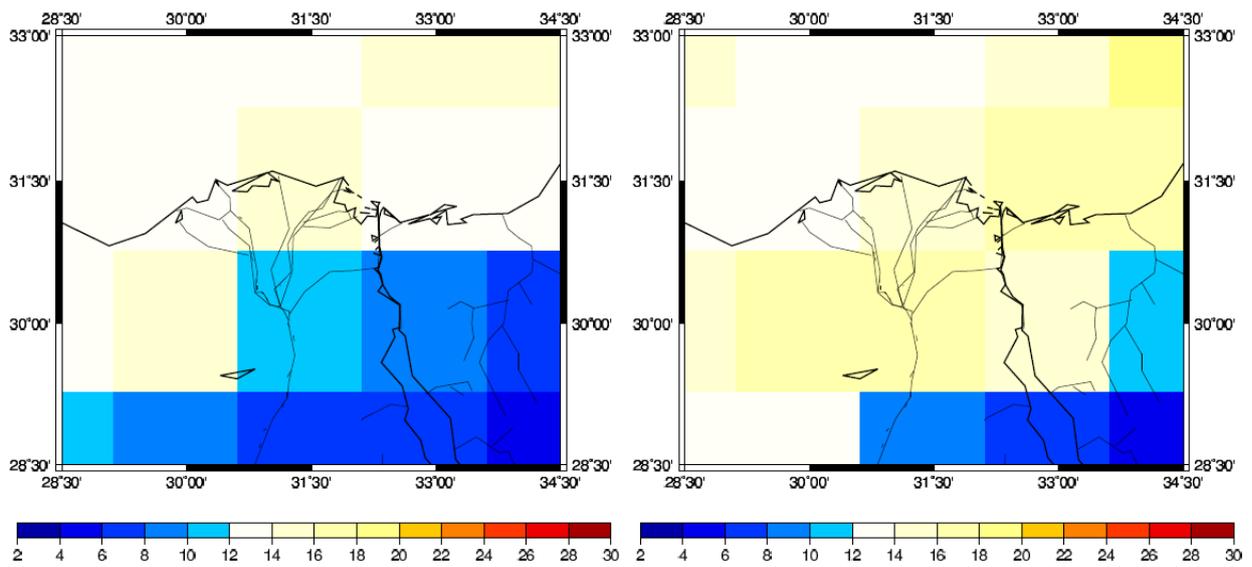
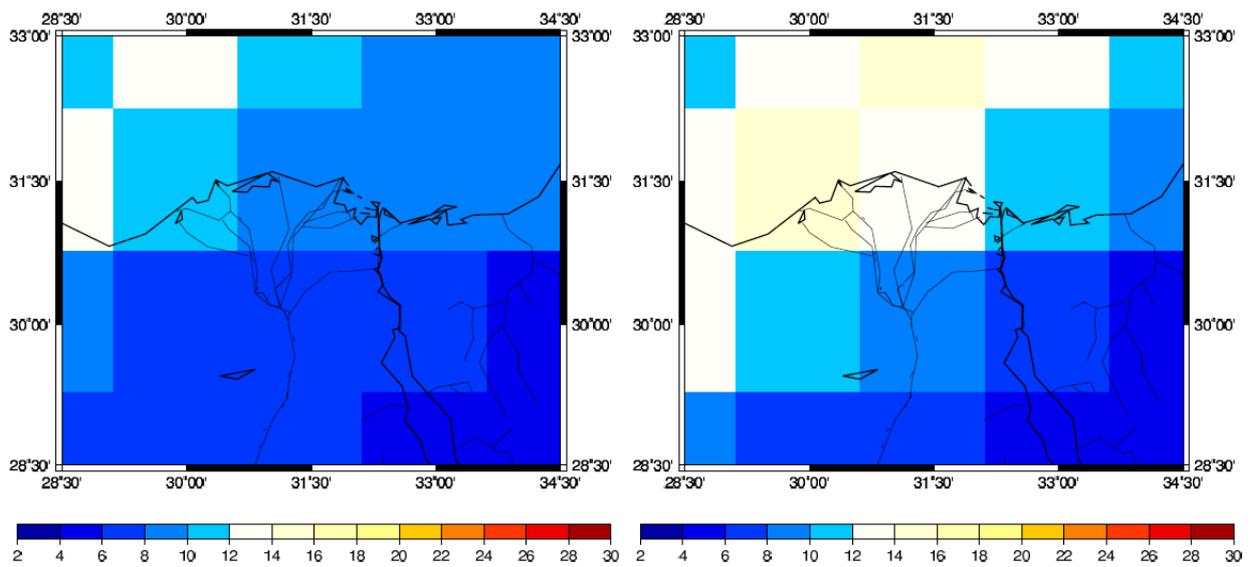


図 42 可降水量の分布図 (2010 年 1 月 11 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

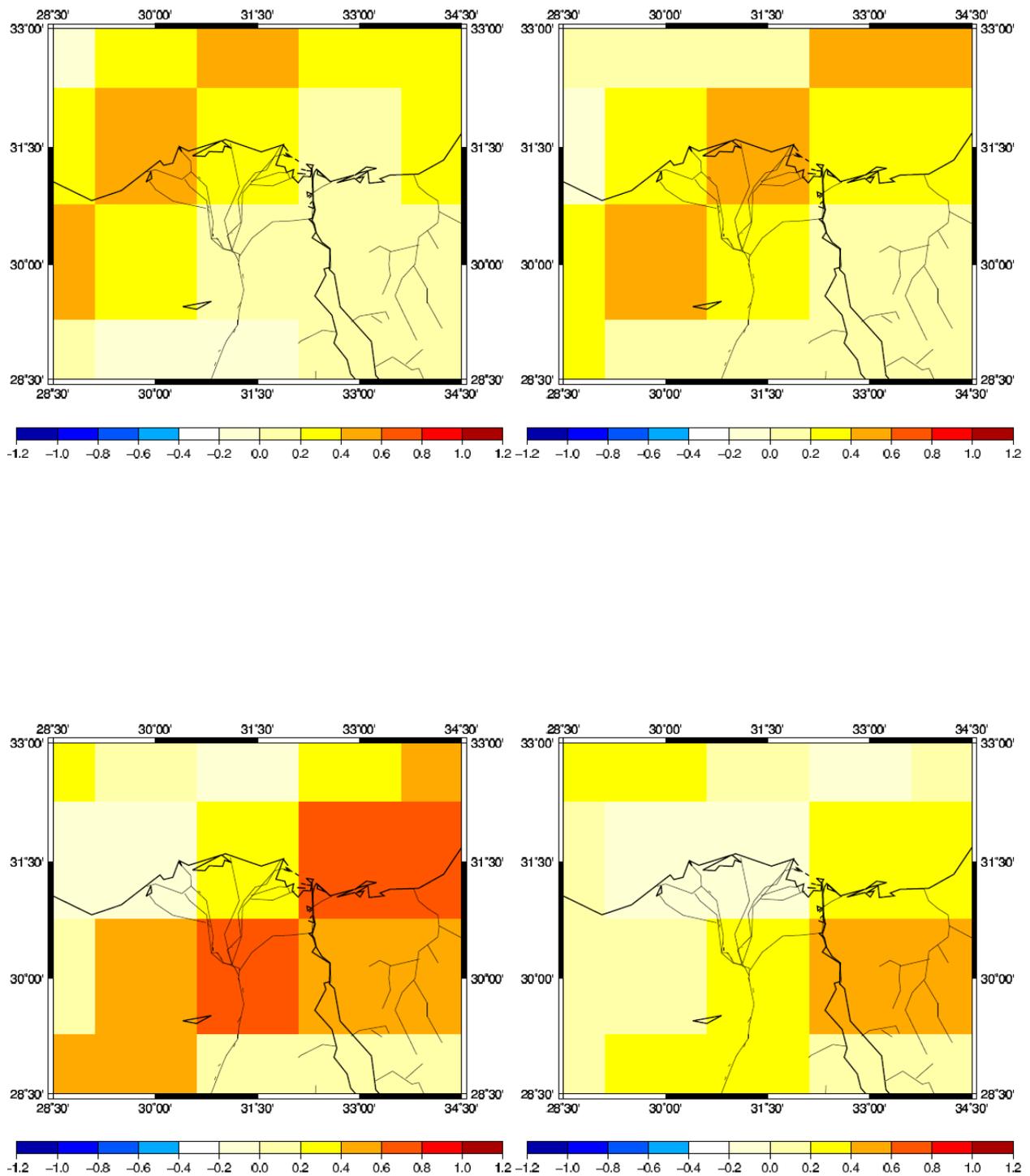


図 43 可降水量の時間変化分布図 (2010 年 1 月 11 日)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

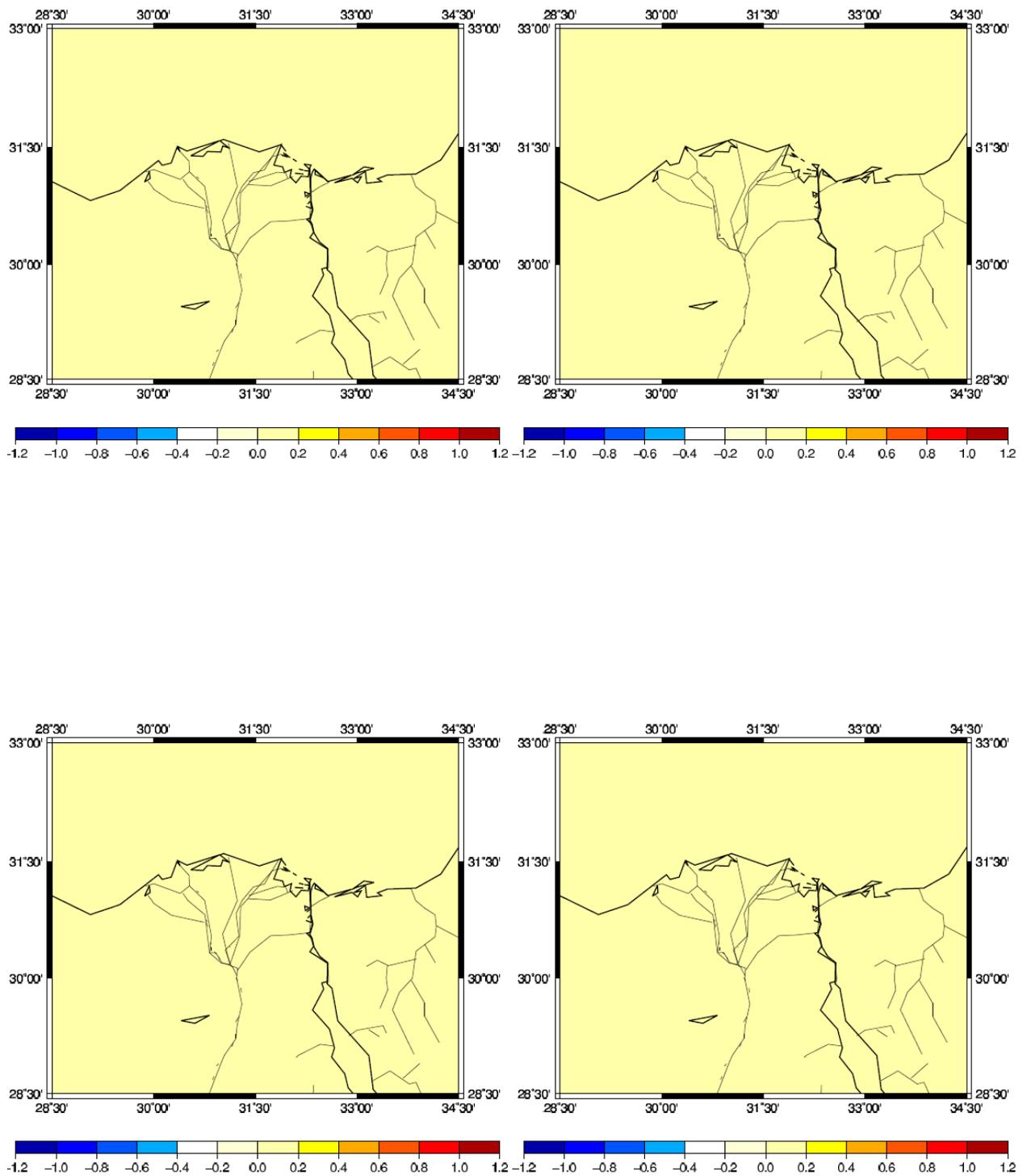


図 44 降水量の分布図 (2010 年 1 月 11 日)

左上 : 0000 UTC (前の日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC の平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~0700 UTC の平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC の平均)

右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC の平均)

単位は mm/hour

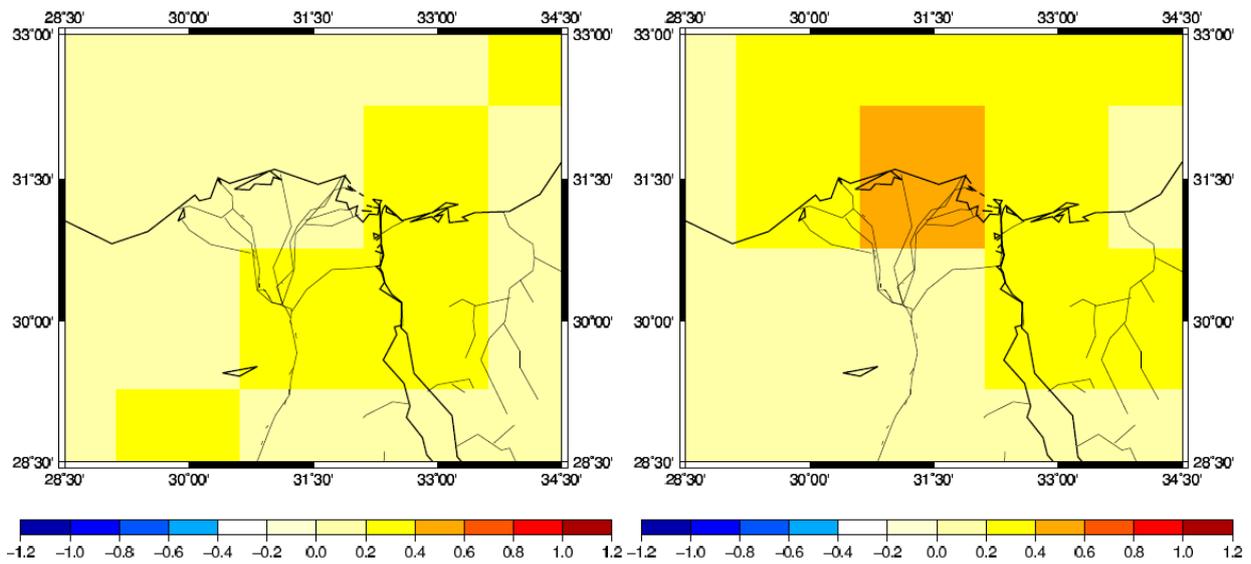
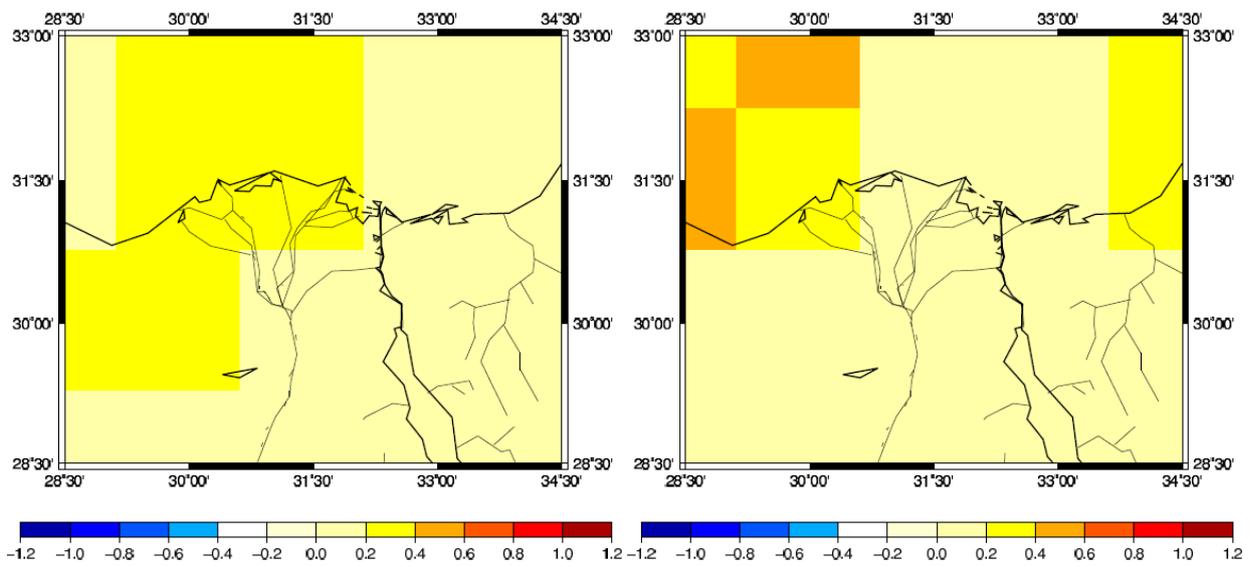


図 45 蒸発散量の分布図 (2010 年 1 月 11 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

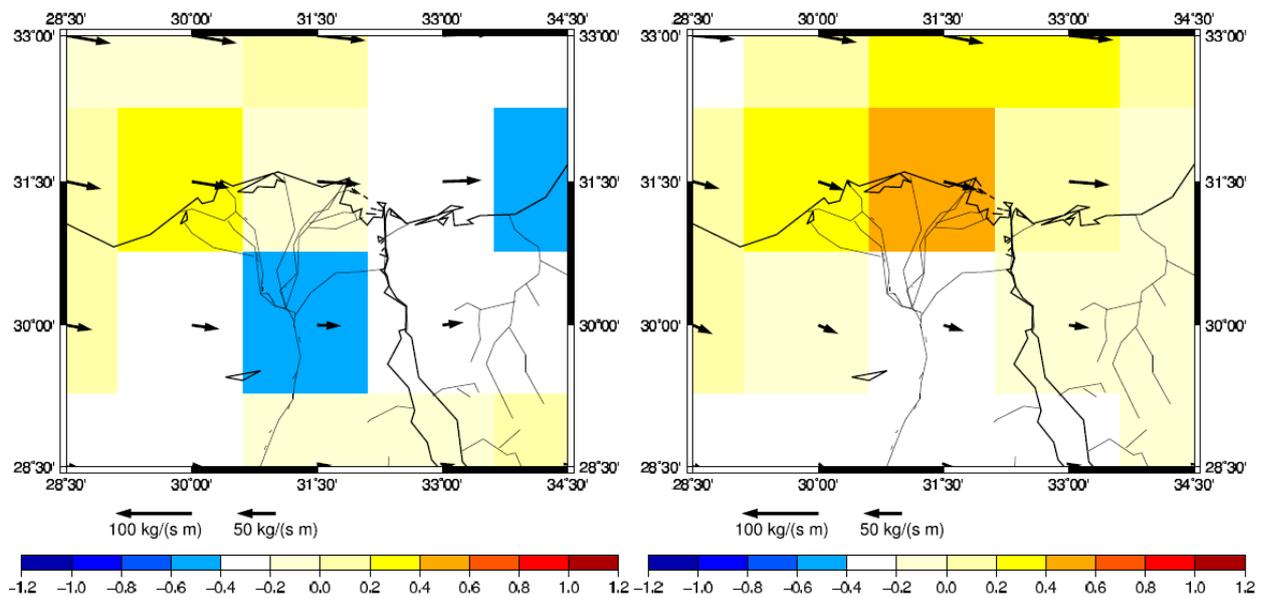
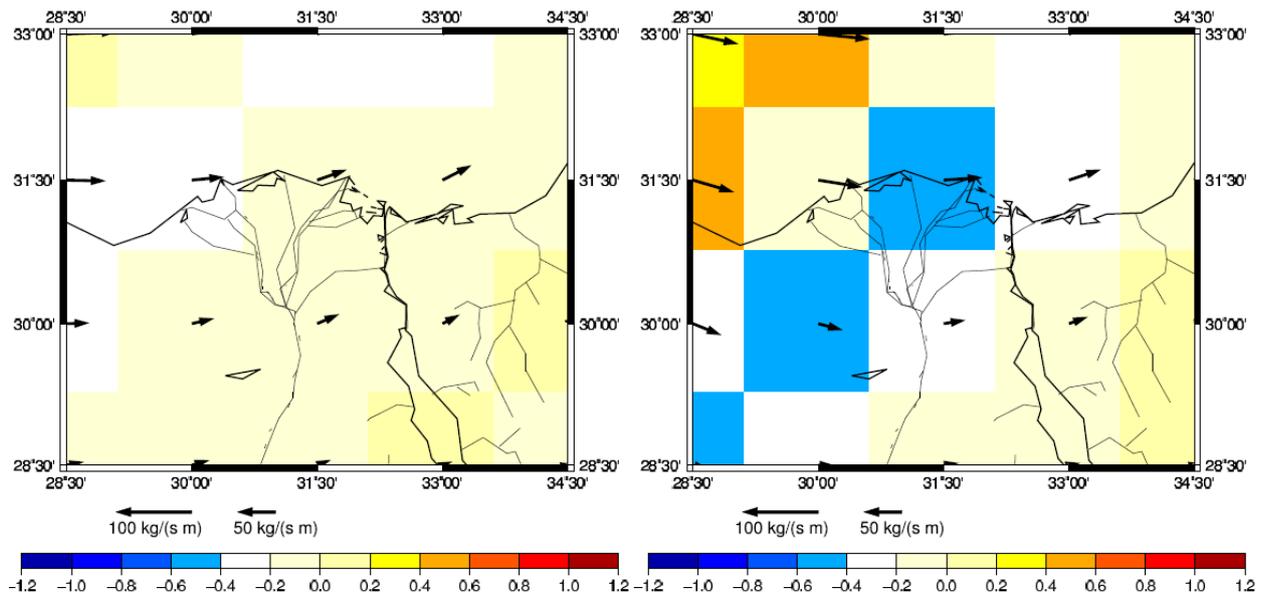


図 46 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010年1月11日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す。

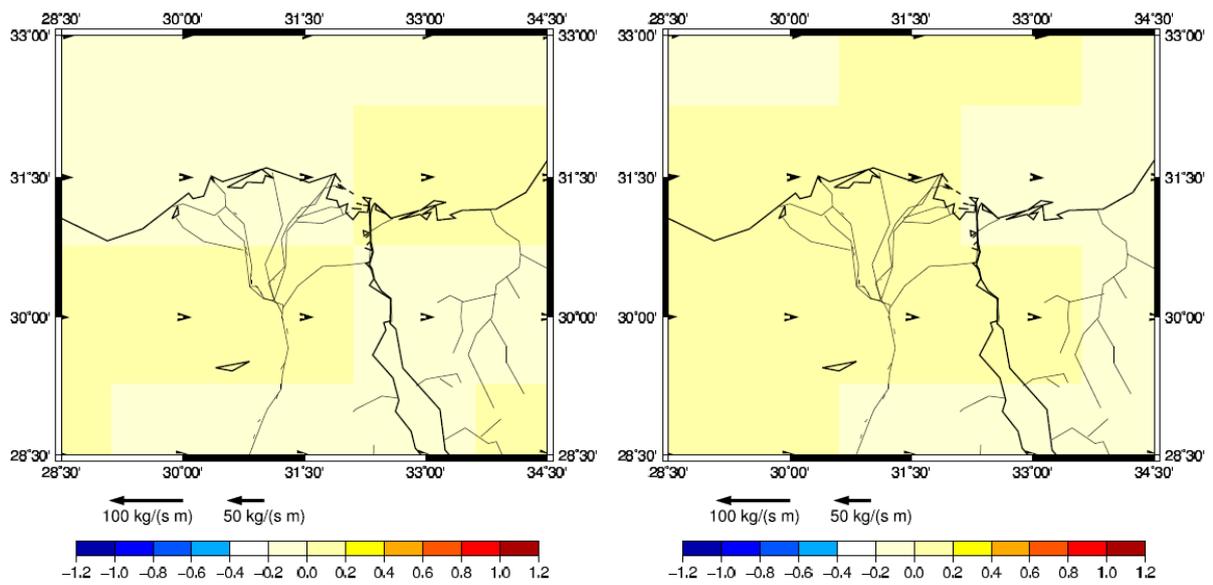
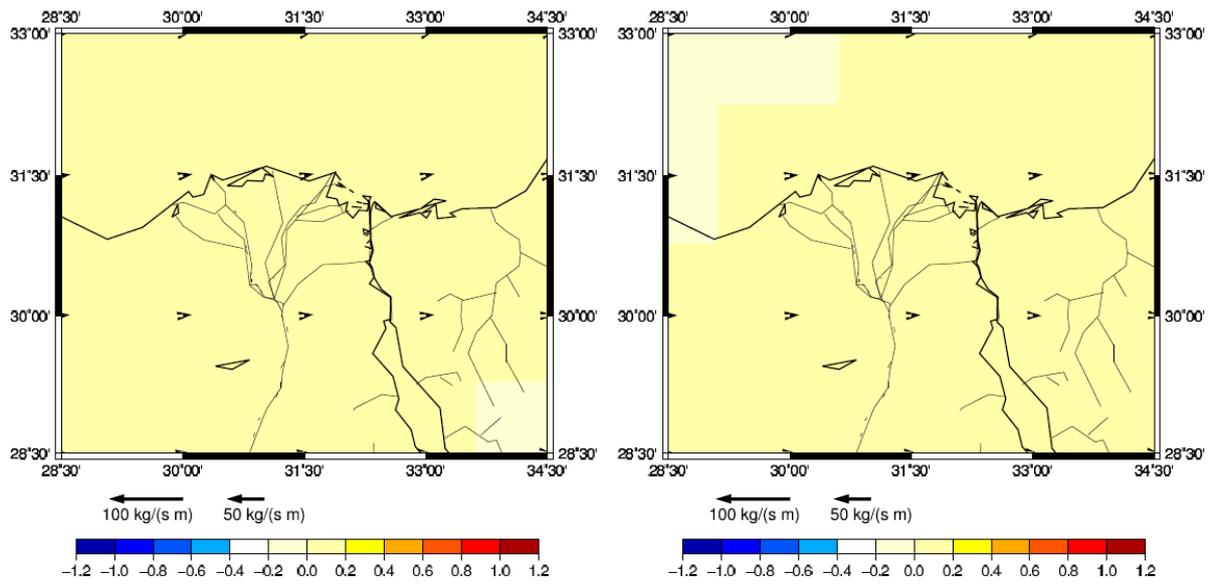


図 47 1 hPa から 600 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 1 月 11 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す。

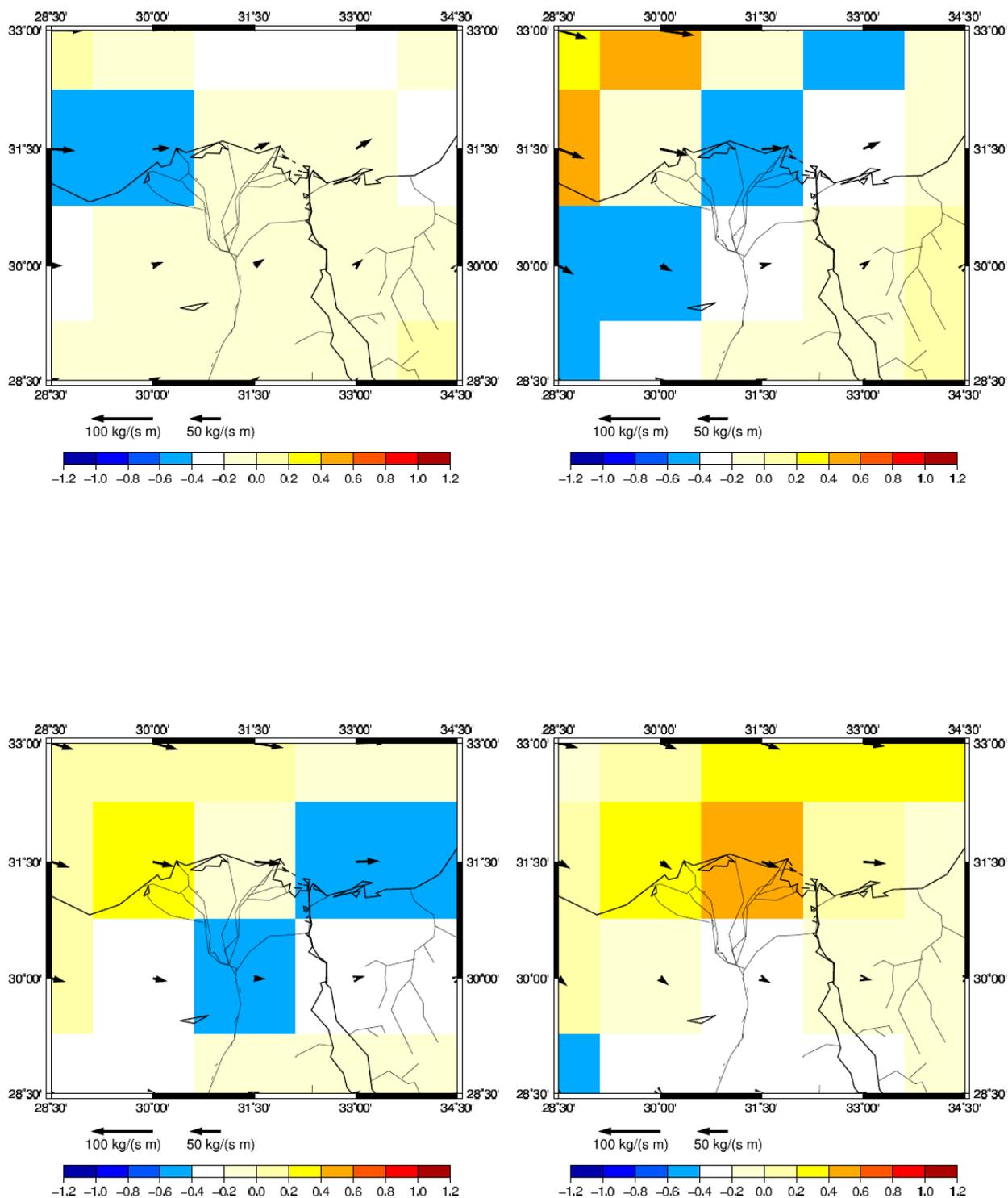


図 48 600hPa から 1000 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 1 月 11 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す.

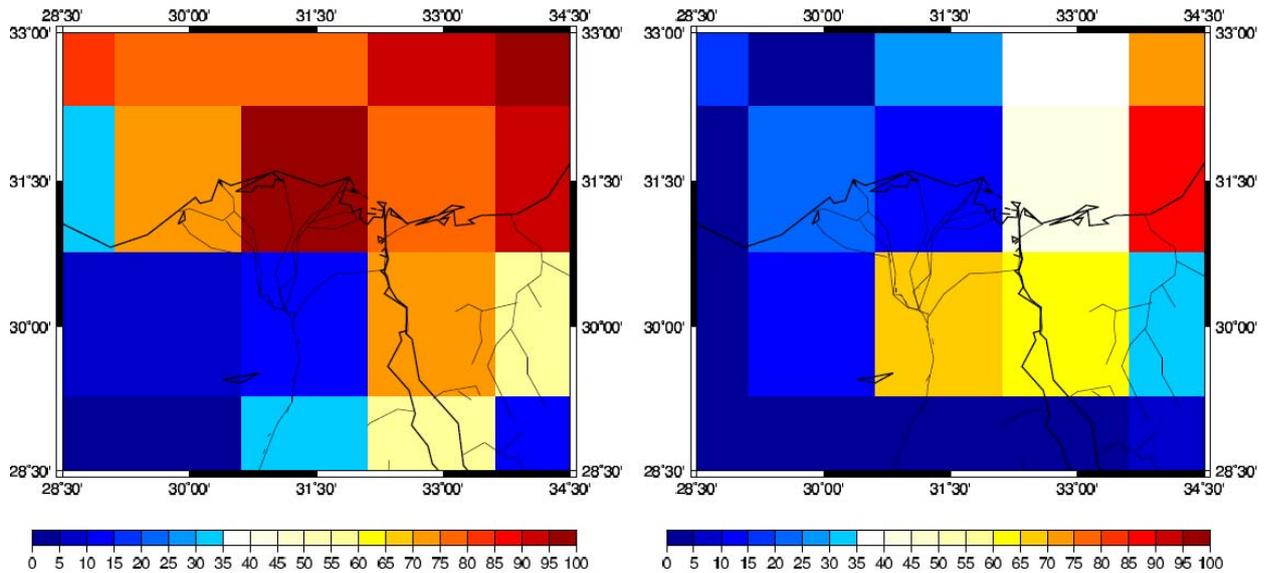
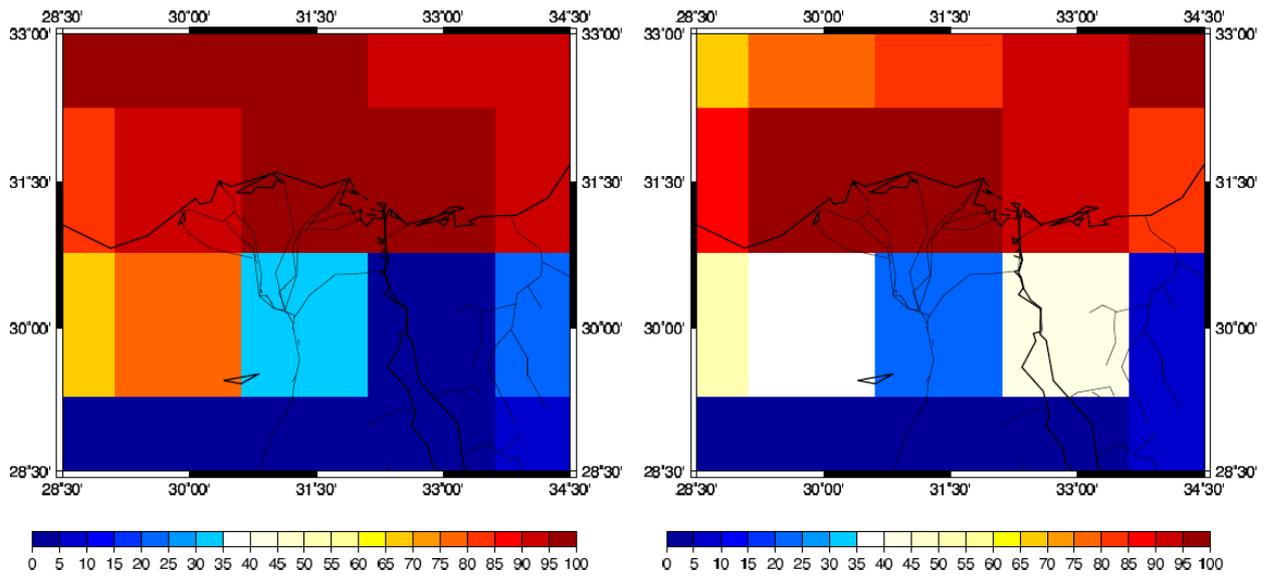


図 49 全雲量分布の時間変化 (2010 年 5 月 18 日)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

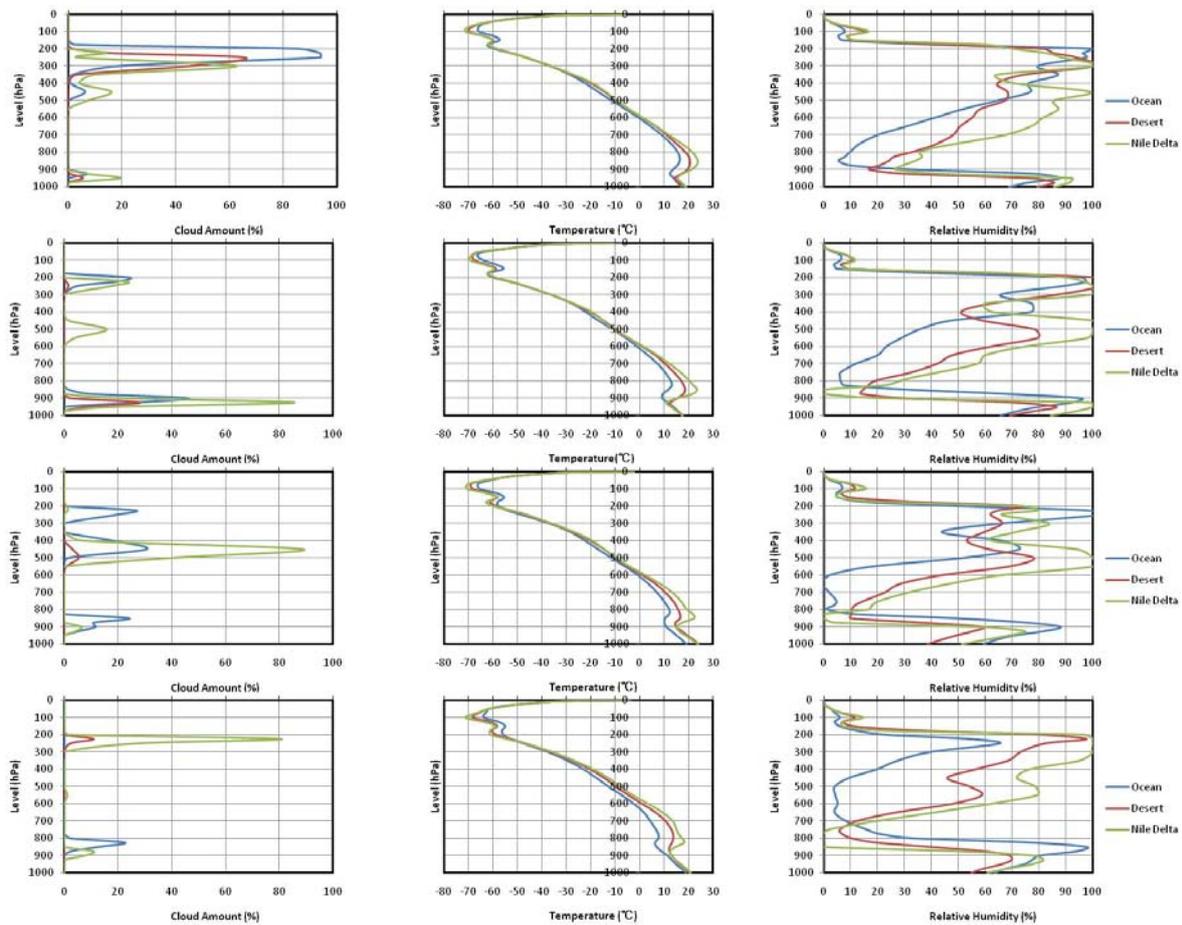


図 50 時間別気象要因高度分布 (2010 年 5 月 18 日)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 4 持ち上げ凝結高度 (2010 年 5 月 18 日, hPa)

Time	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	927	952	959
0600 UTC	918	927	939
1200 UTC	897	802	893
1800 UTC	903	889	886

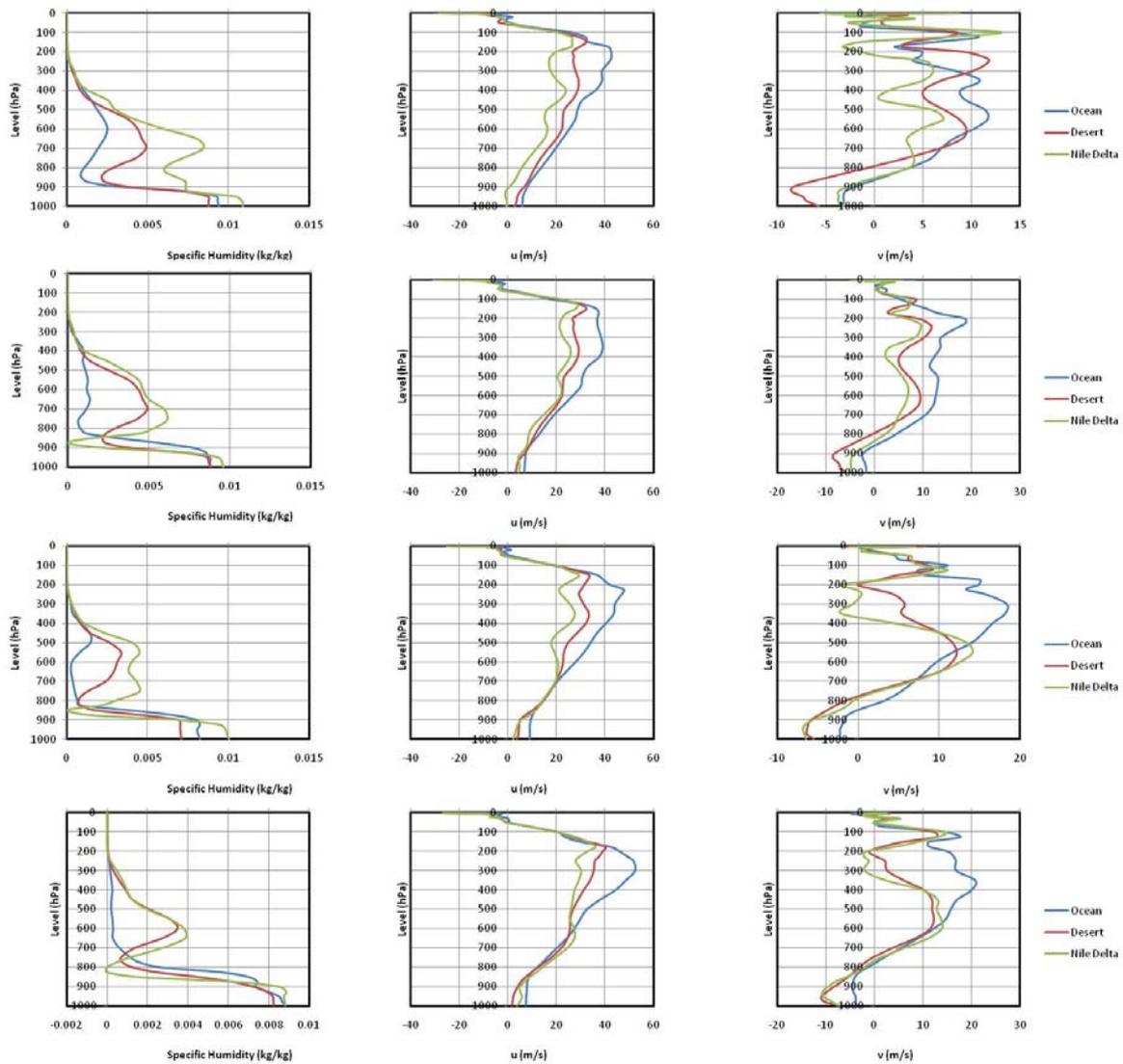


図 51 時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 5 月 18 日)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

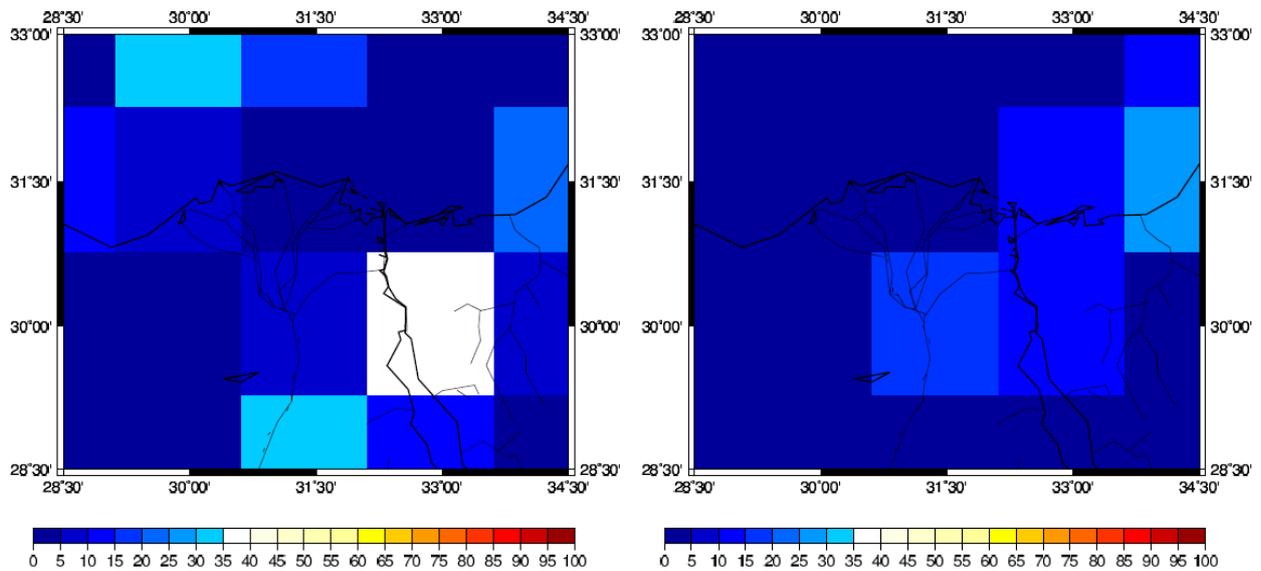
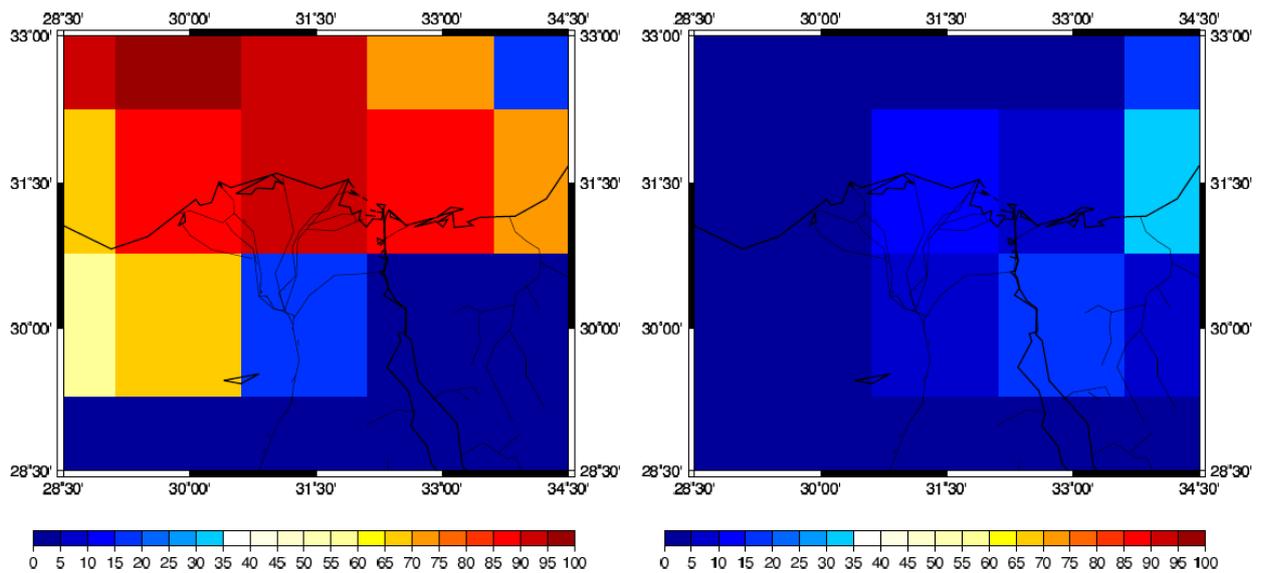


図 52 高層雲の分布図 (2010 年 5 月 18 日 250 hPa)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

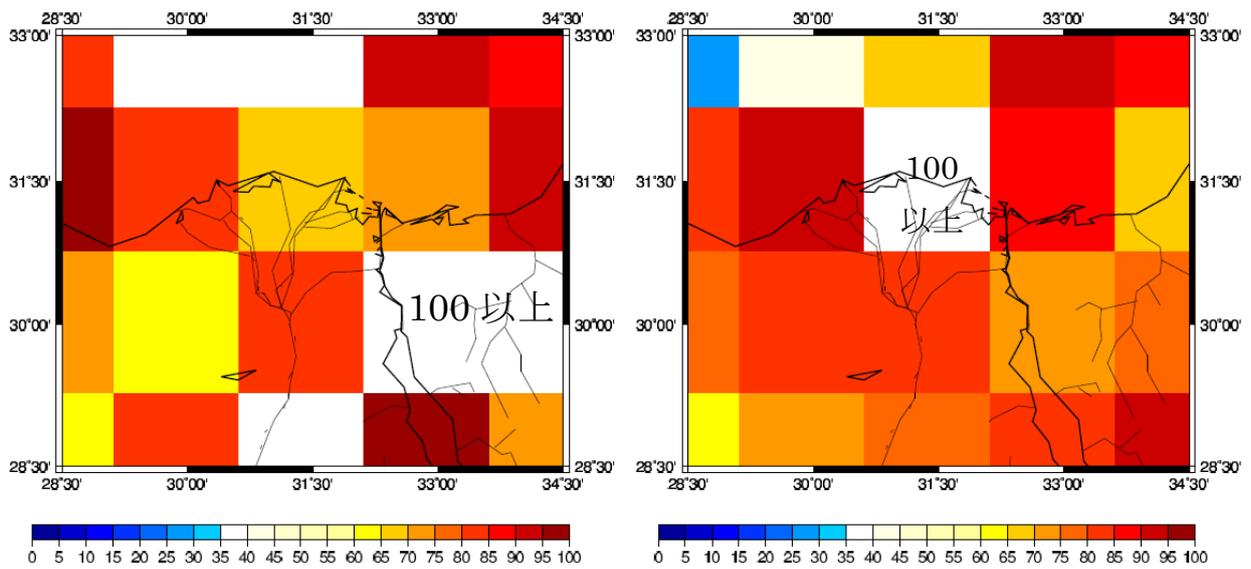
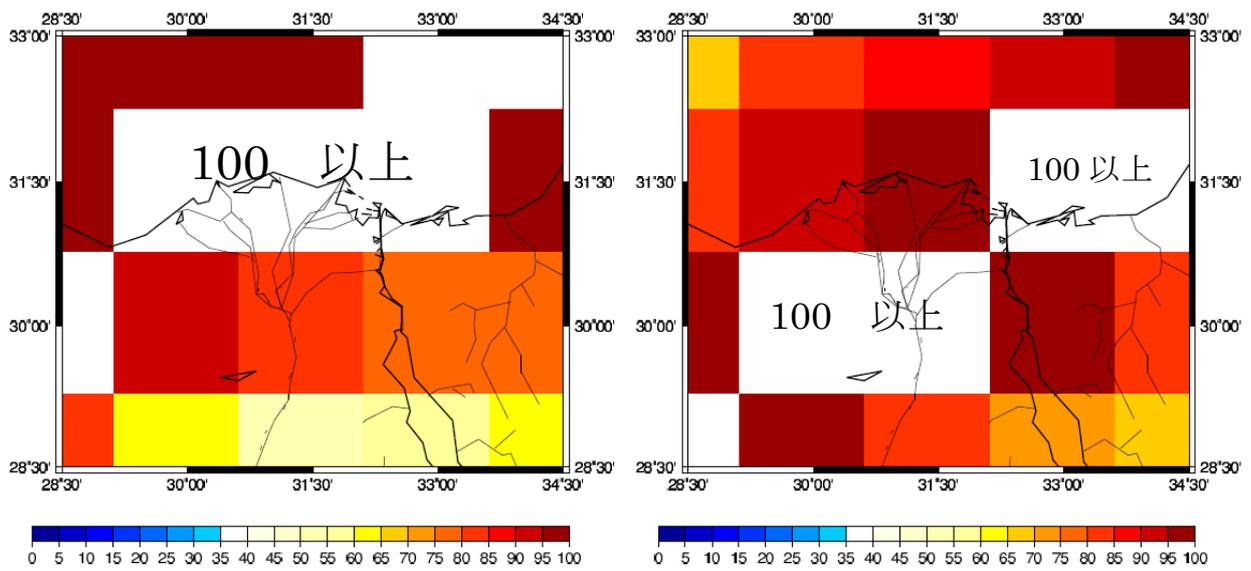


図 53 高層雲の相対湿度分布図 (2010年5月18日 250 hPa)

左上：0000 UTC (前の日の 1500 UTC～当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上：0600 UTC (前の日の 2100 UTC～当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下：1200 UTC (0300 UTC～1500 UTC のデータより内挿)

右下：1800 UTC (0900 UTC～2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

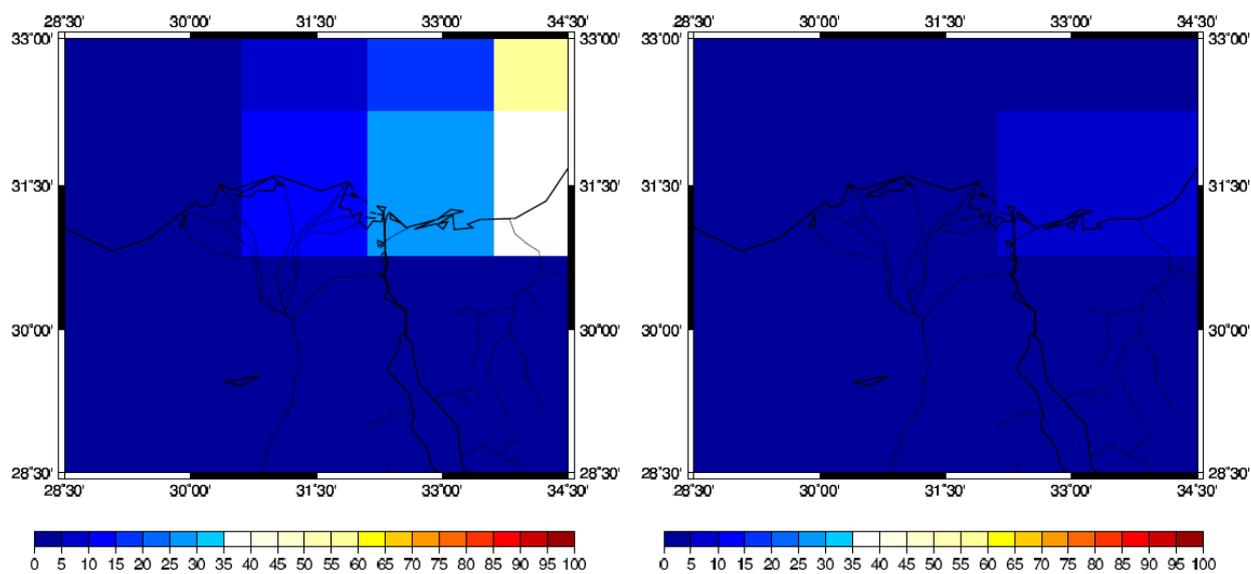
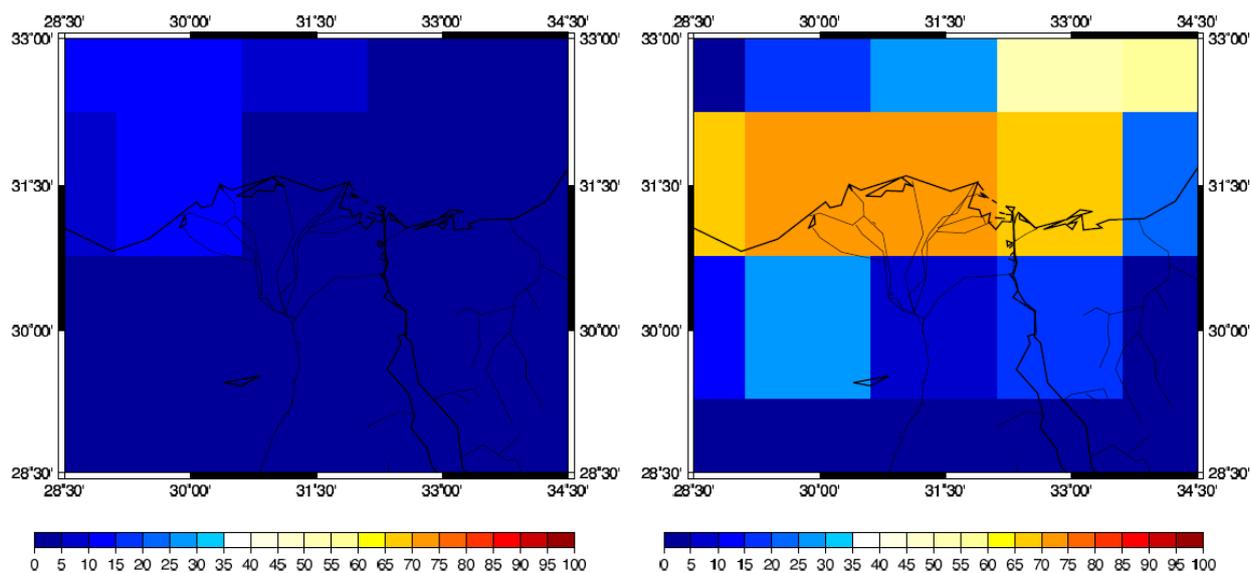


図 54 低層雲の分布図 (2010 年 5 月 18 日 925 hPa)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

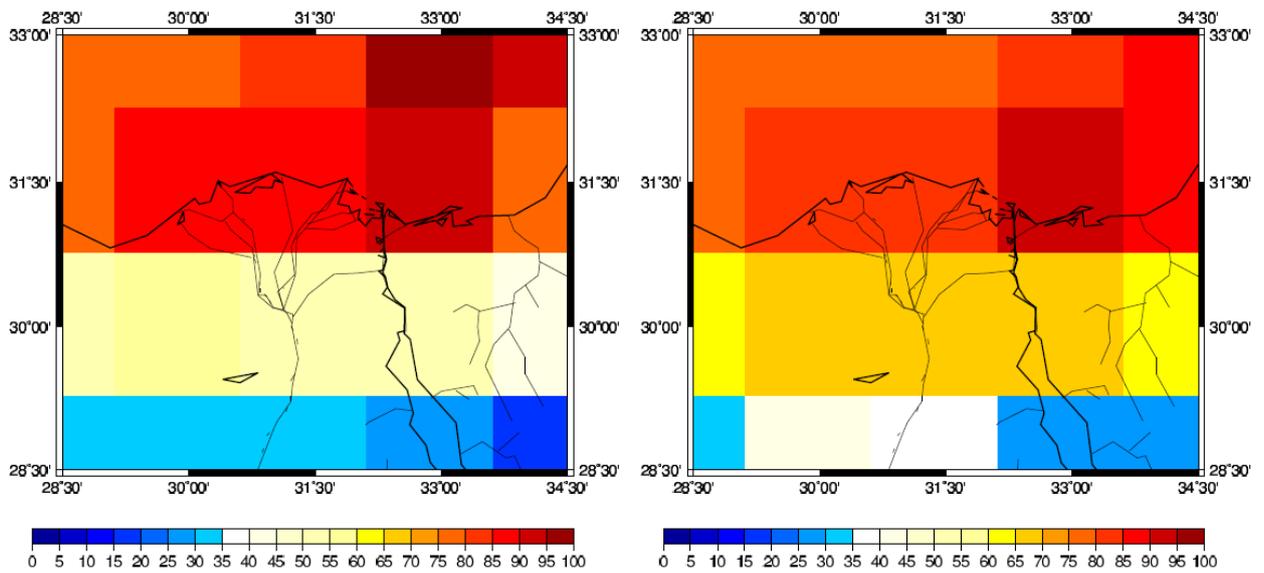
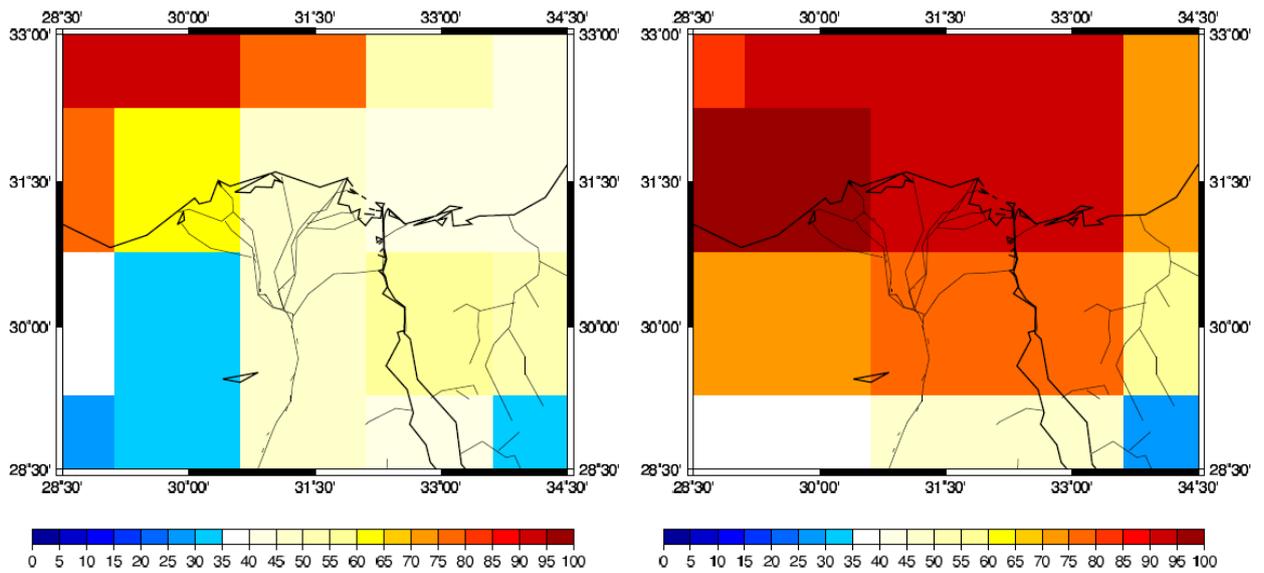


図 55 低層の相対湿度分布図 (2010 年 5 月 18 日 925 hPa)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

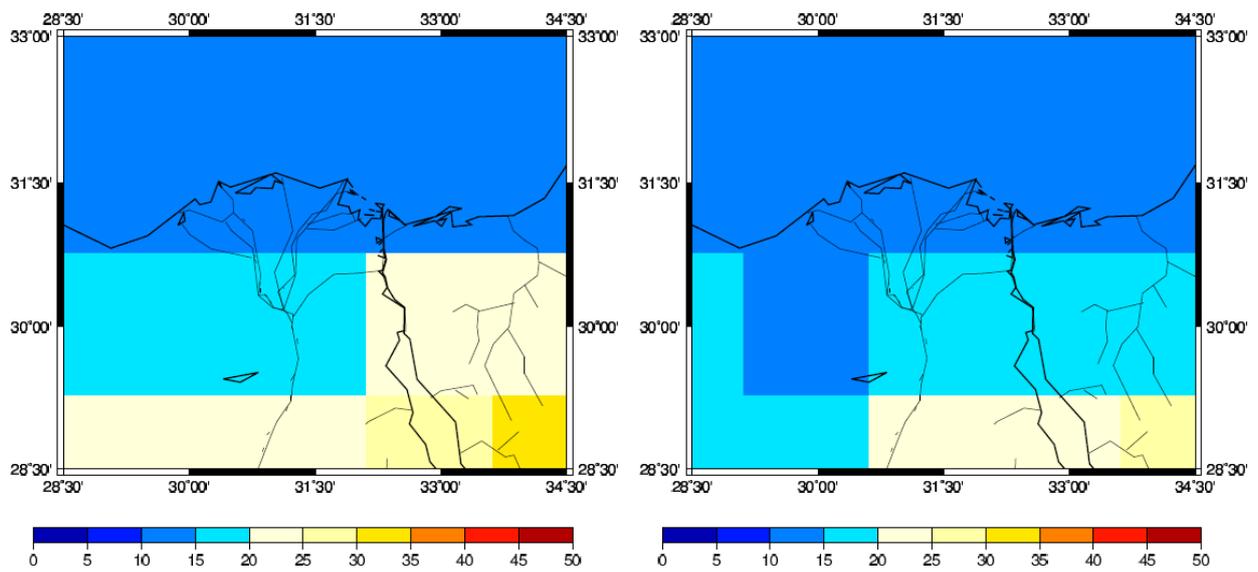
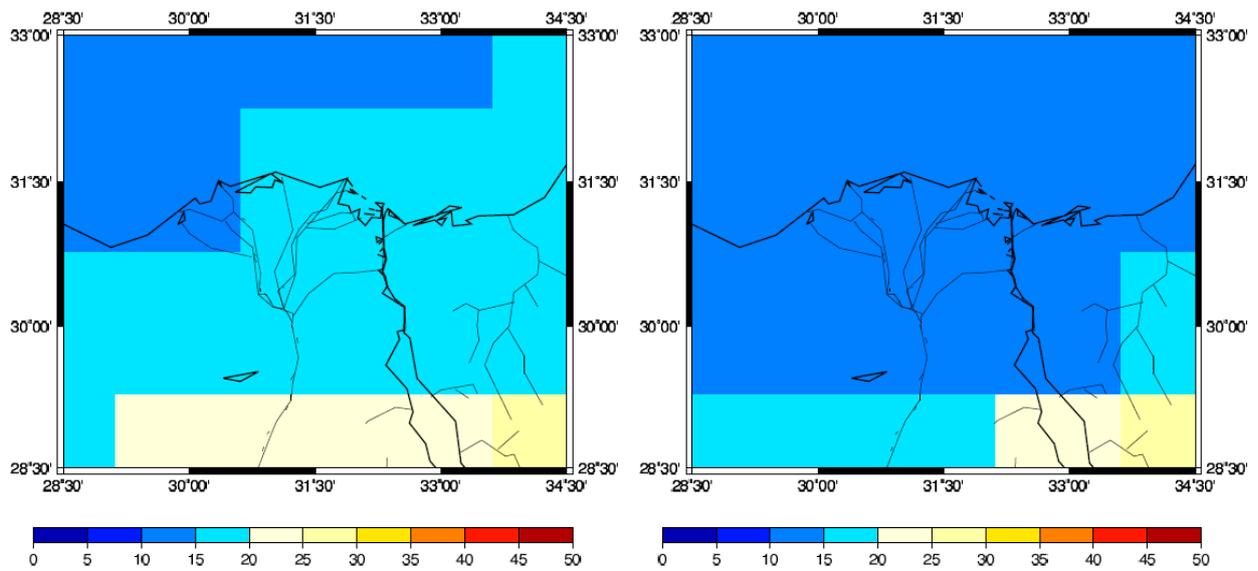


図 56 低層の気温の分布図 (2010 年 5 月 18 日, 925 hPa)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は°C

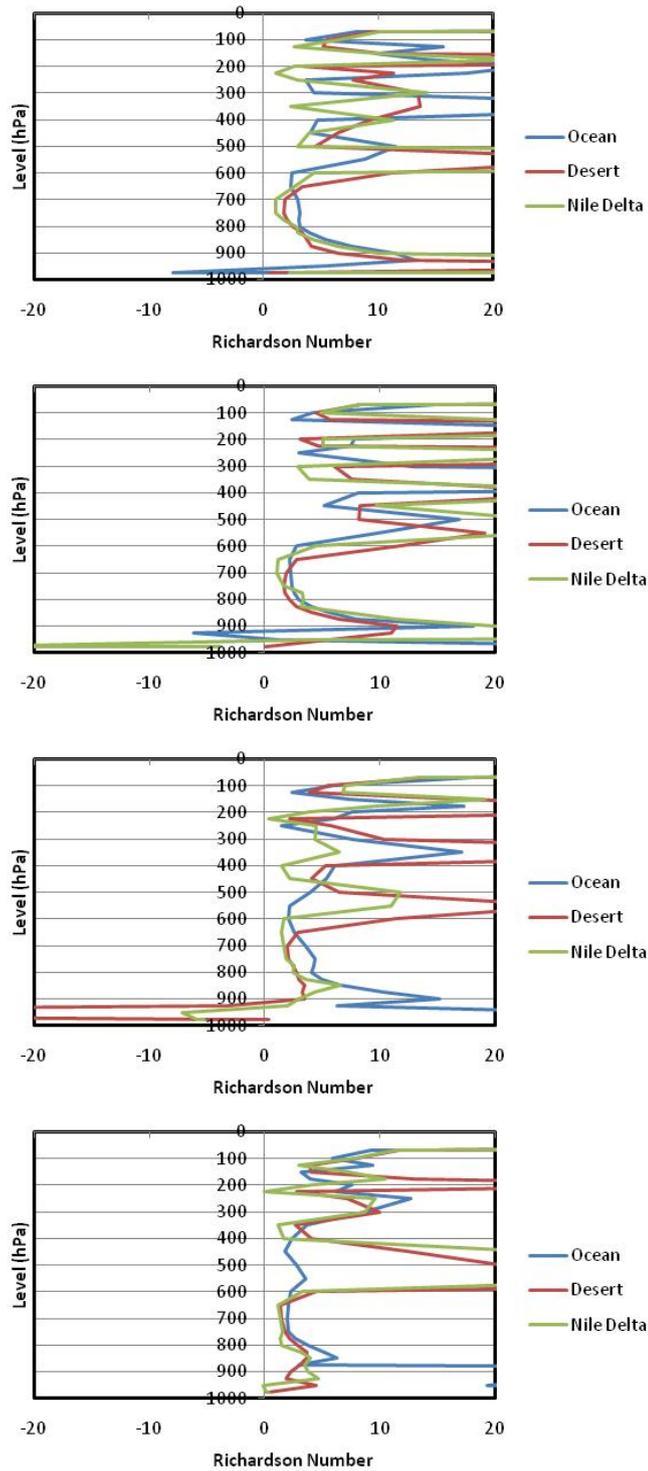


図 57 大気の安定度 (2010 年 5 月 18 日)

上から 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC 平均),

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC 平均)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC 平均)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC 平均)

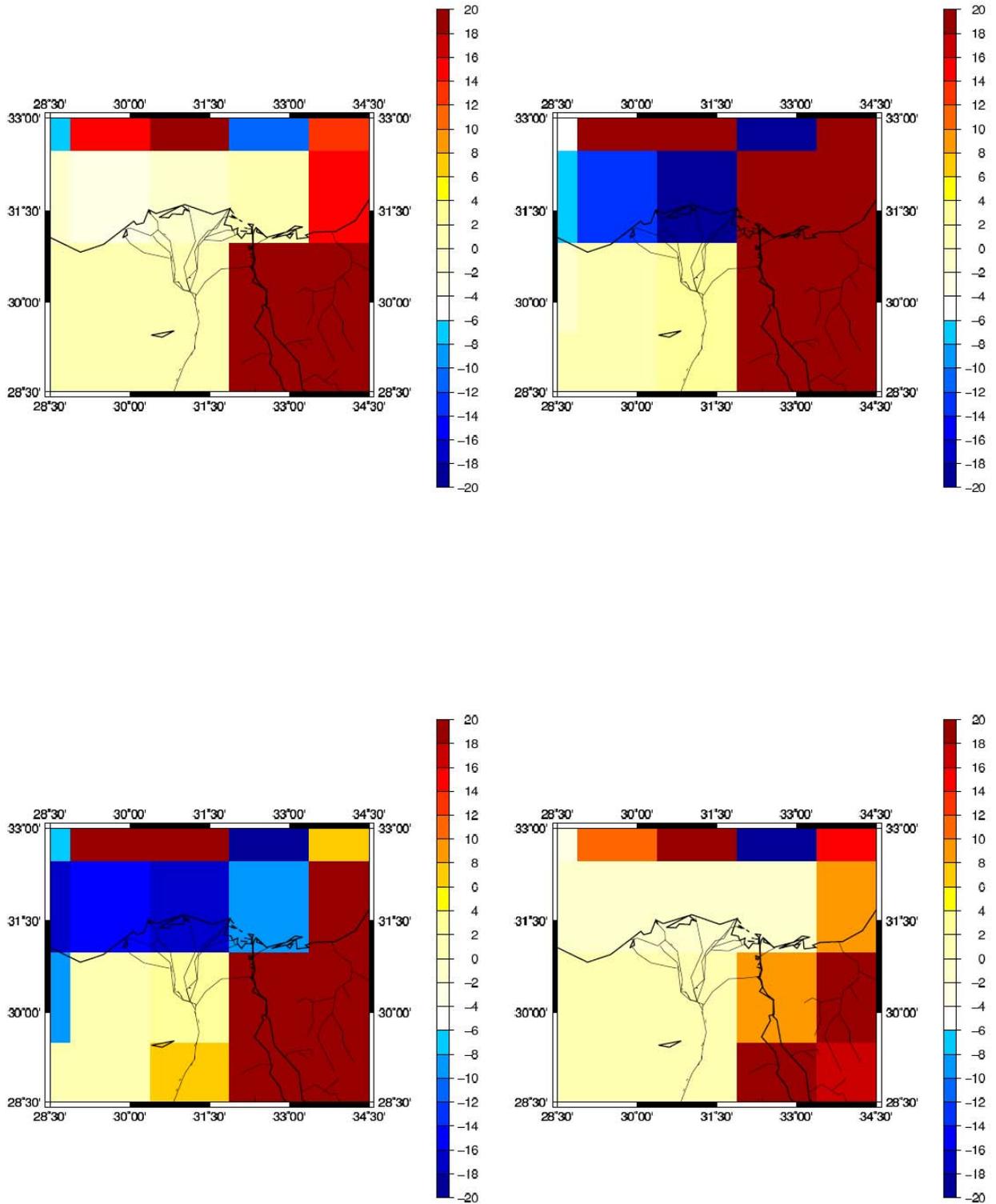


図 58 大気安定度の分布 (2010 年 5 月 18 日, 987.5 hPa)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

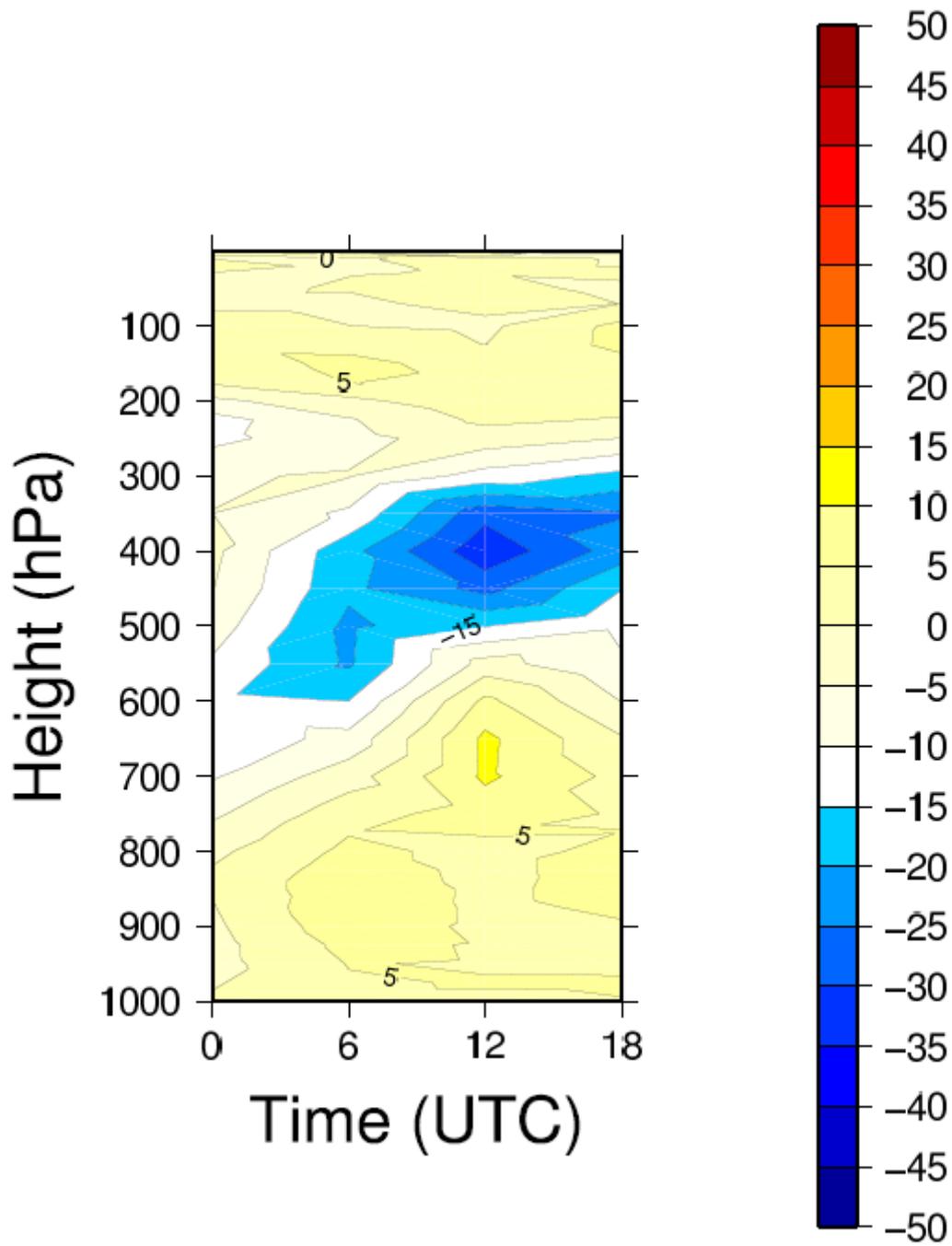


図 59 海上での鉛直風速 (2010年5月18日)

正が下降流, 負が上昇流

単位は $\times 10^{-3}$  m/s

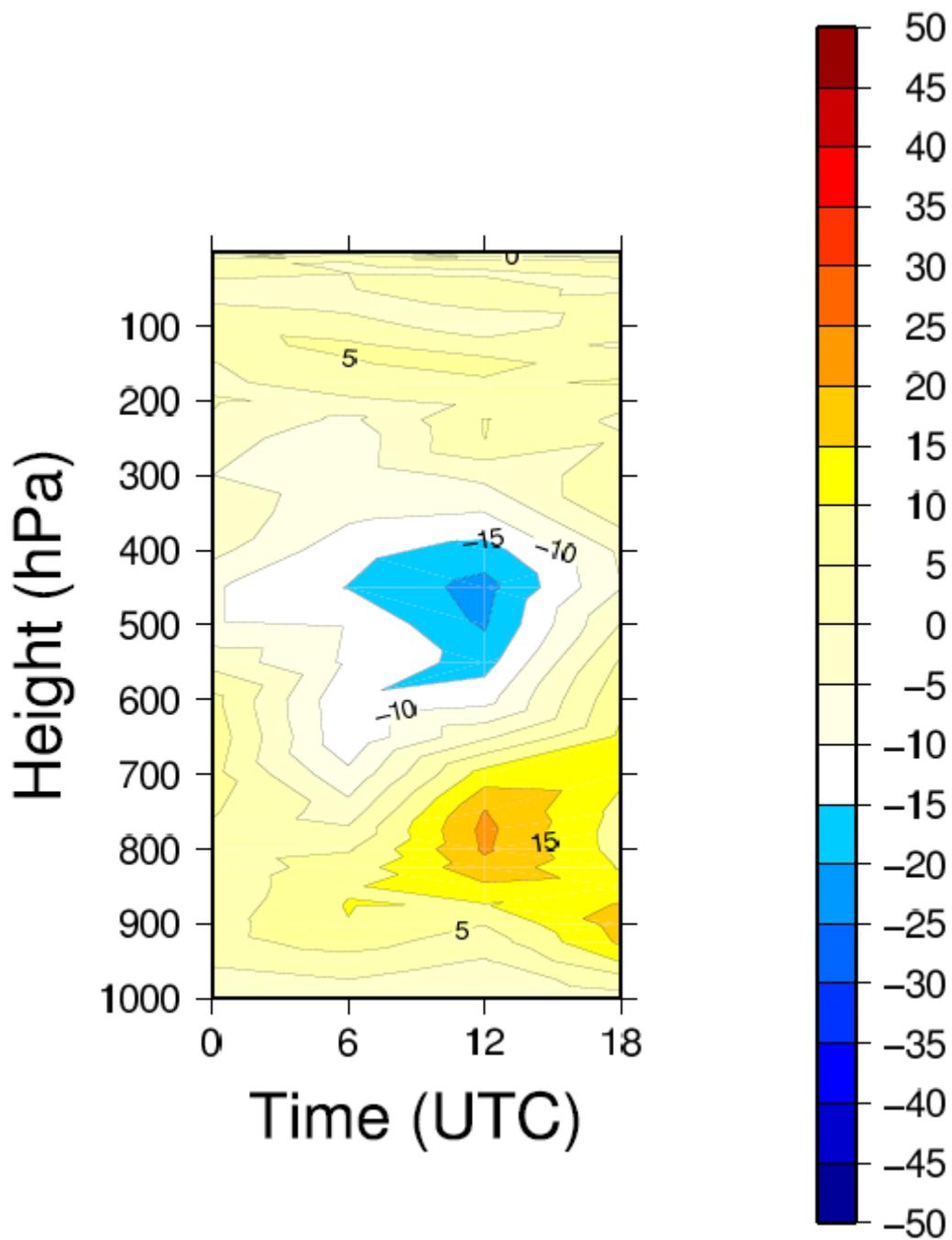


図 60 砂漠上での鉛直風速 (2010 年 5 月 18 日)

正が下降流, 負が上昇流

単位は  $\times 10^{-3}$  m/s

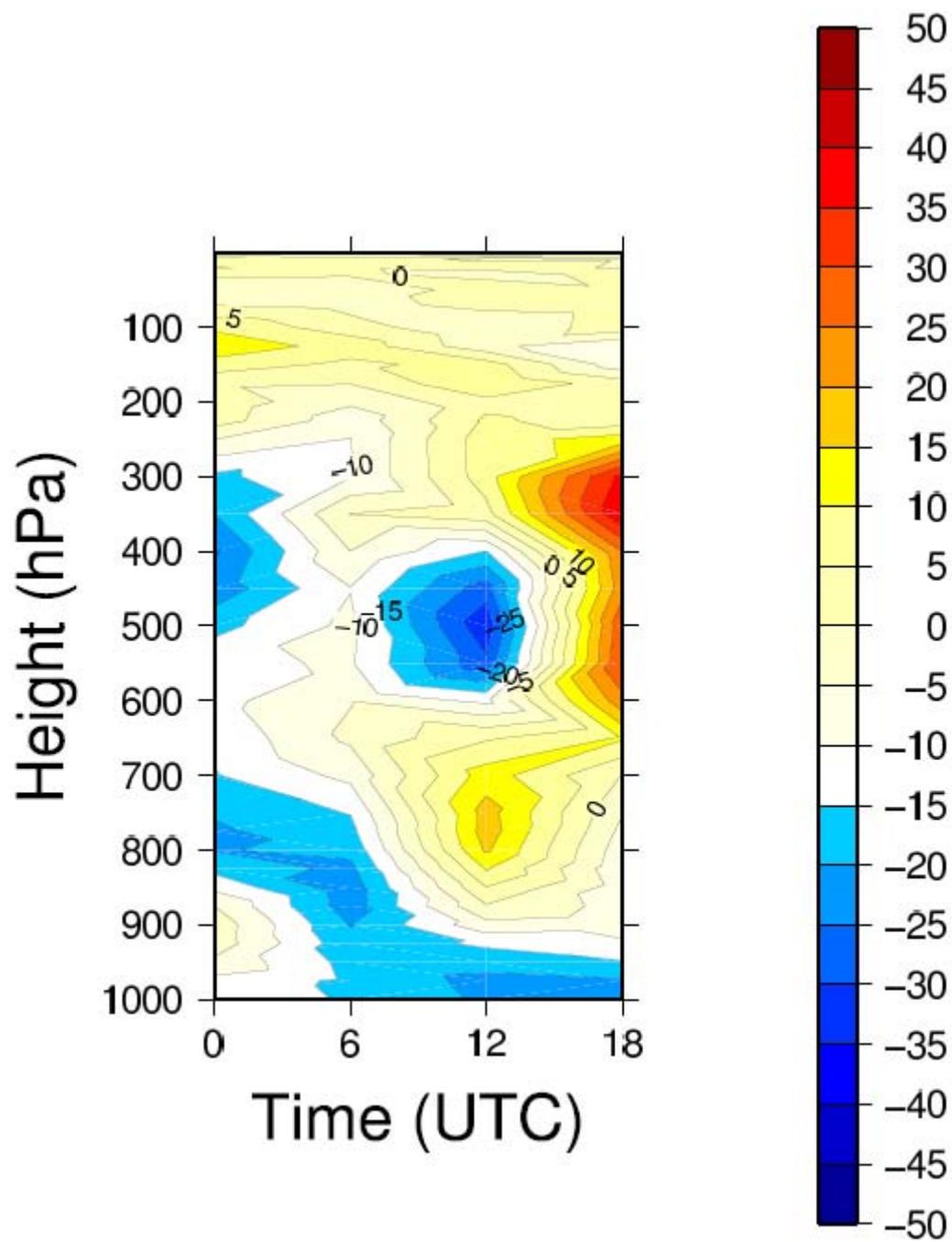


図 61 ナイルデルタ上での鉛直風速 (2010年5月18日)

正が下降流, 負が上昇流

単位は $\times 10^{-3}$  m/s

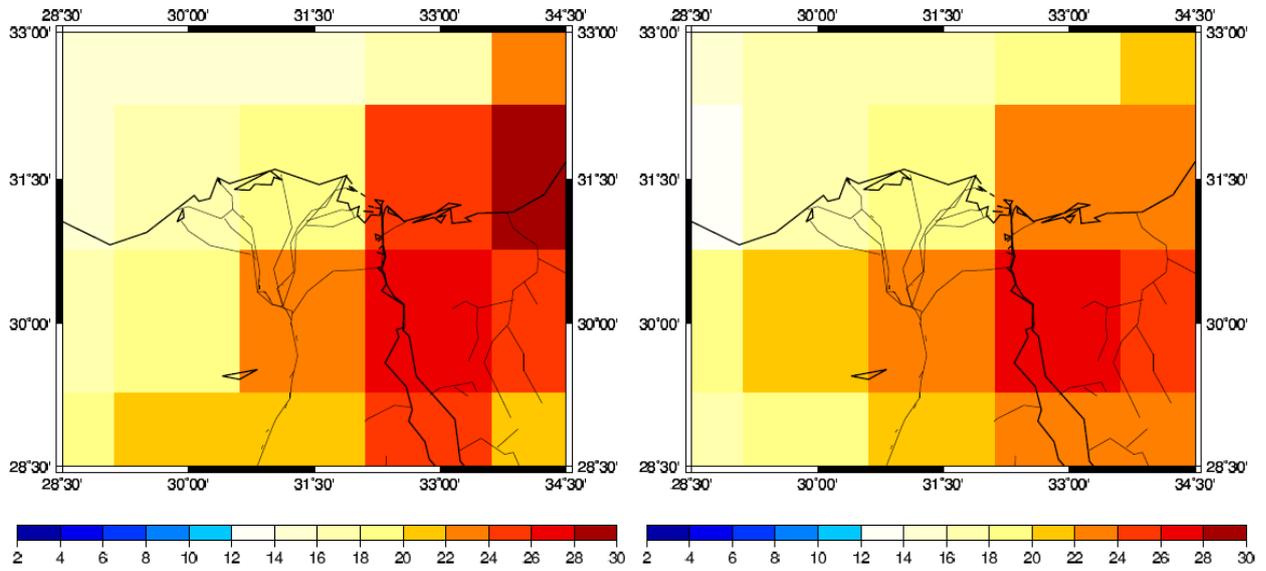
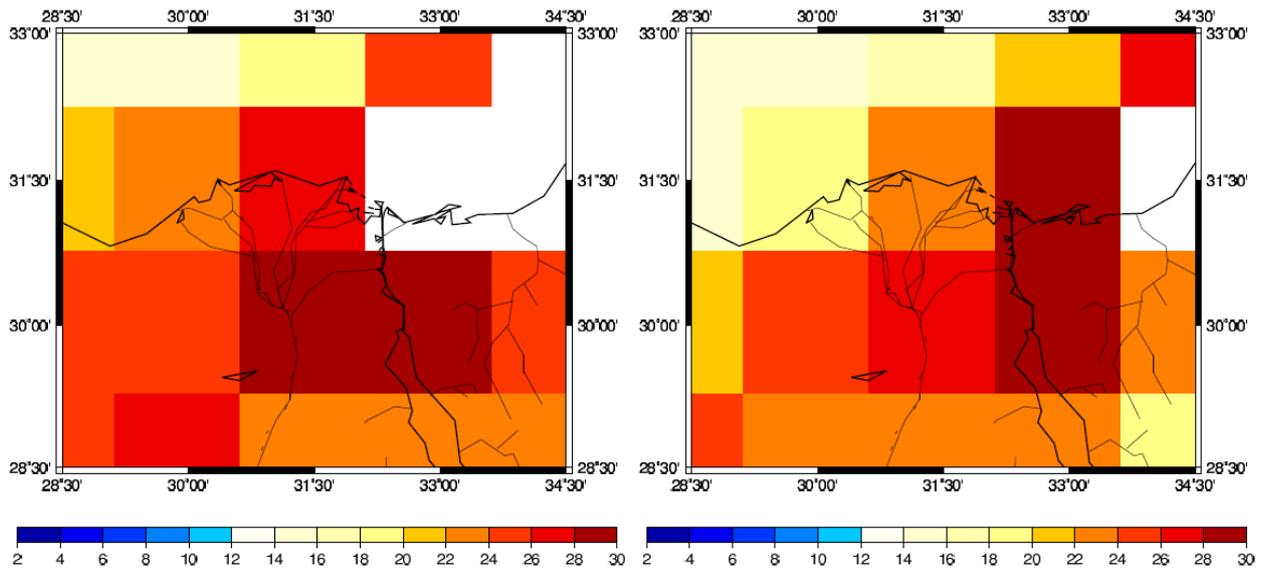


図 62 可降水量の分布図 (2010 年 5 月 18 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

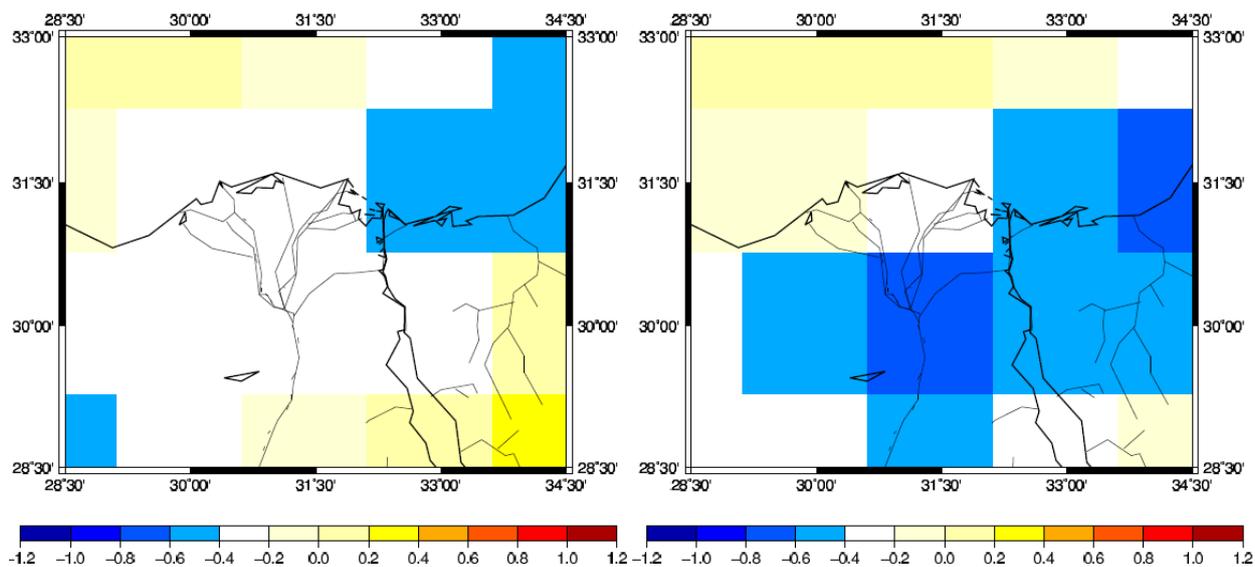
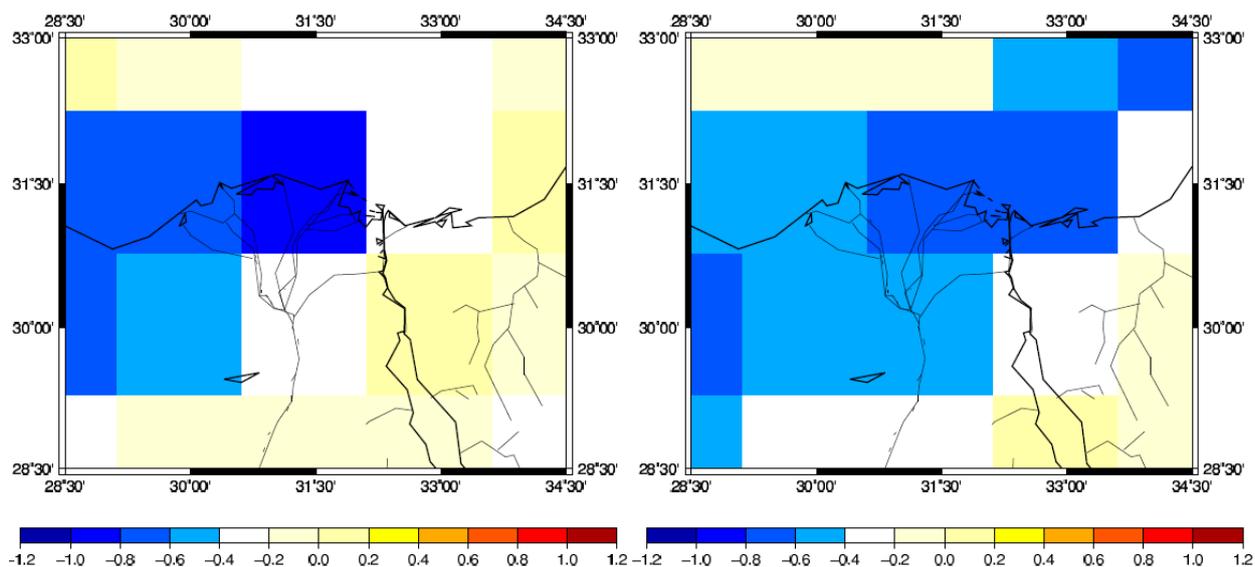


図 63 可降水量の時間変化分布図 (2010年5月18日)

左上：0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上：0600 UTC (0000 UTC～1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下：1200 UTC (0600 UTC～1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下：1800 UTC (1200 UTC～次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

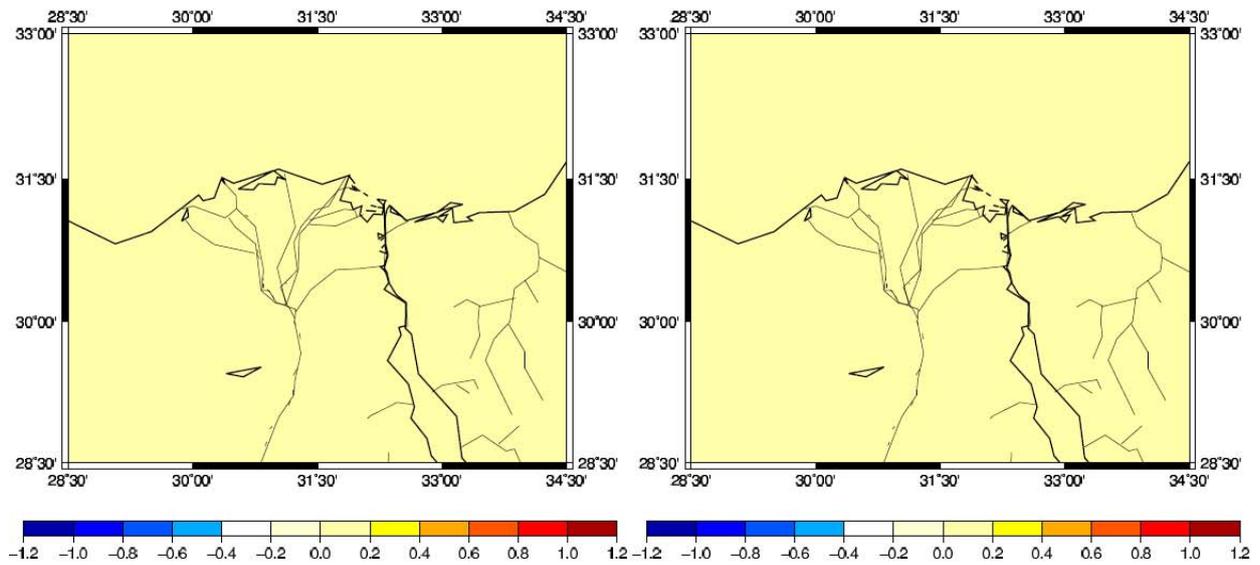
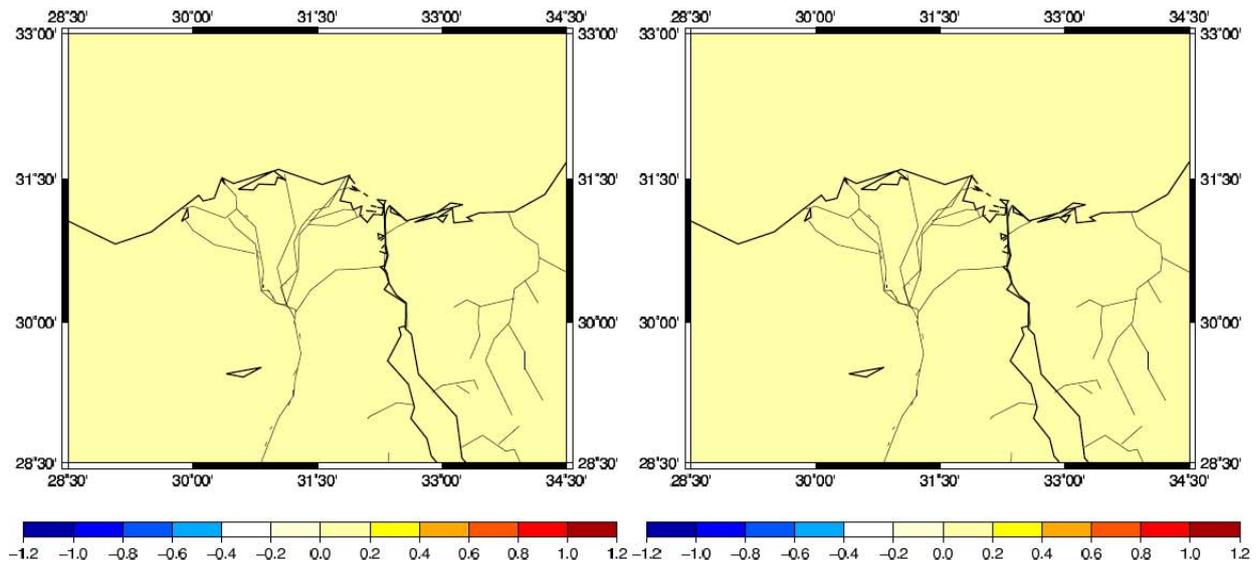


図 64 降水量の分布図 (2010 年 5 月 18 日)

左上 : 0000 UTC (前の日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC のデータの平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~0700 UTC のデータの平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC のデータの平均)

右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC のデータの平均)

単位は mm/hour

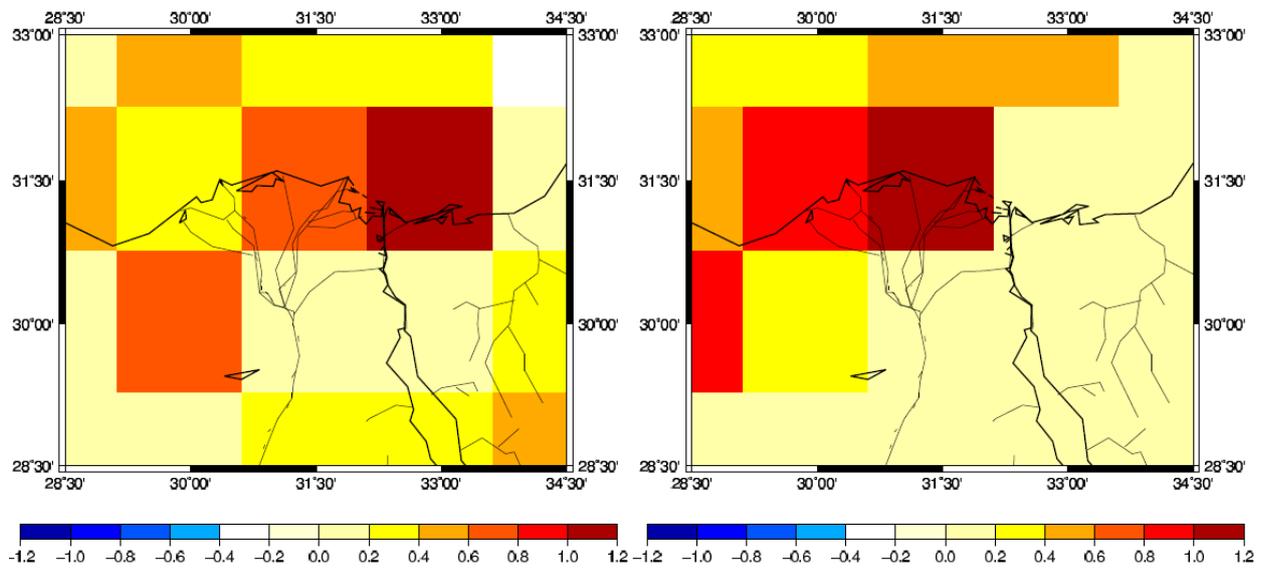
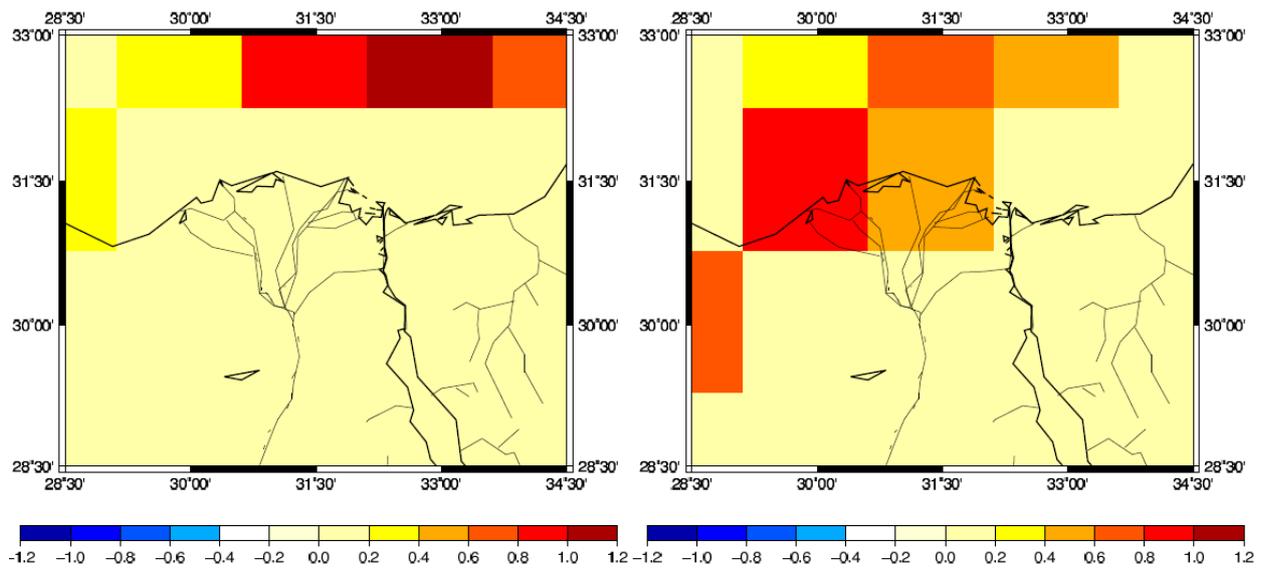


図 65 蒸発散量の分布図 (2010 年 5 月 18 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

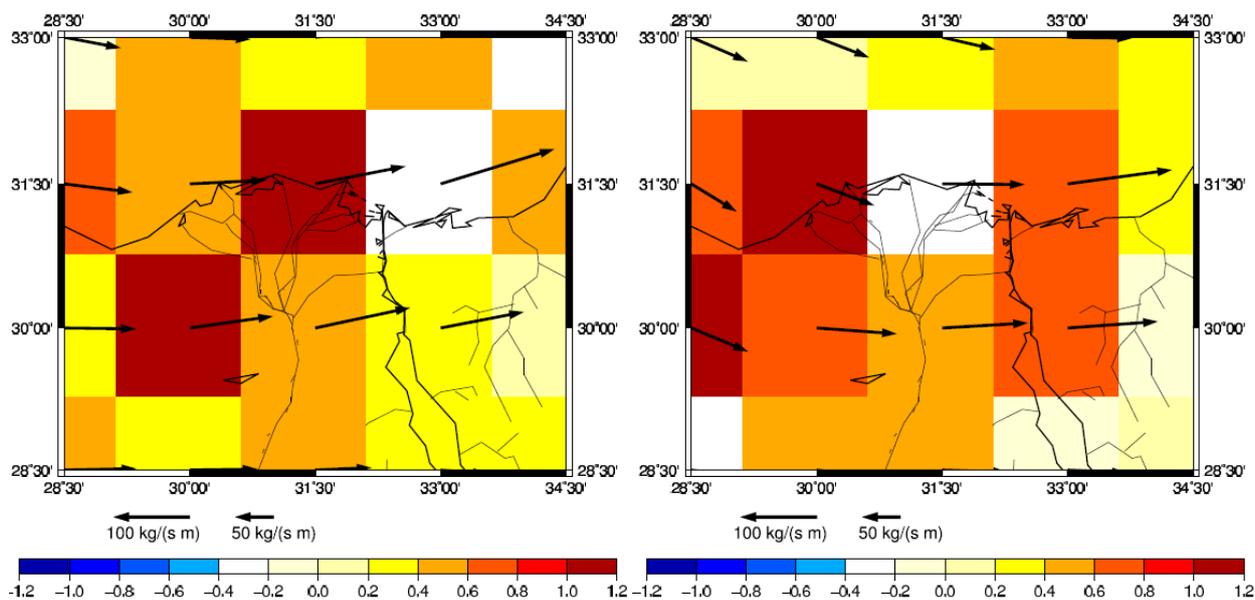
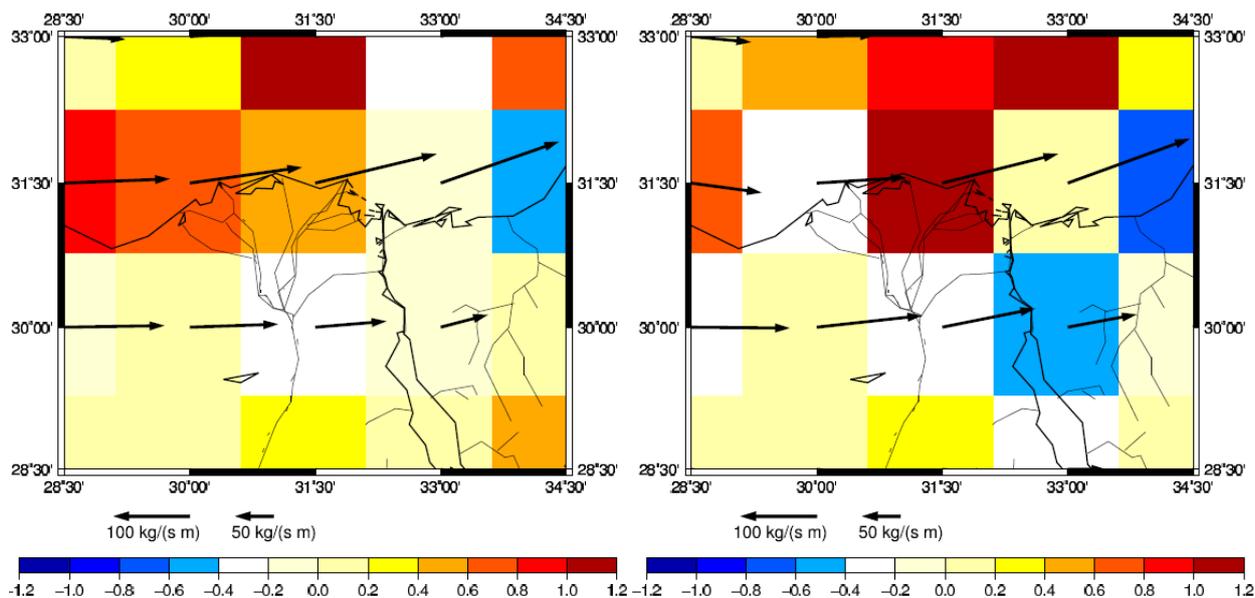


図 66 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010年5月18日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す.

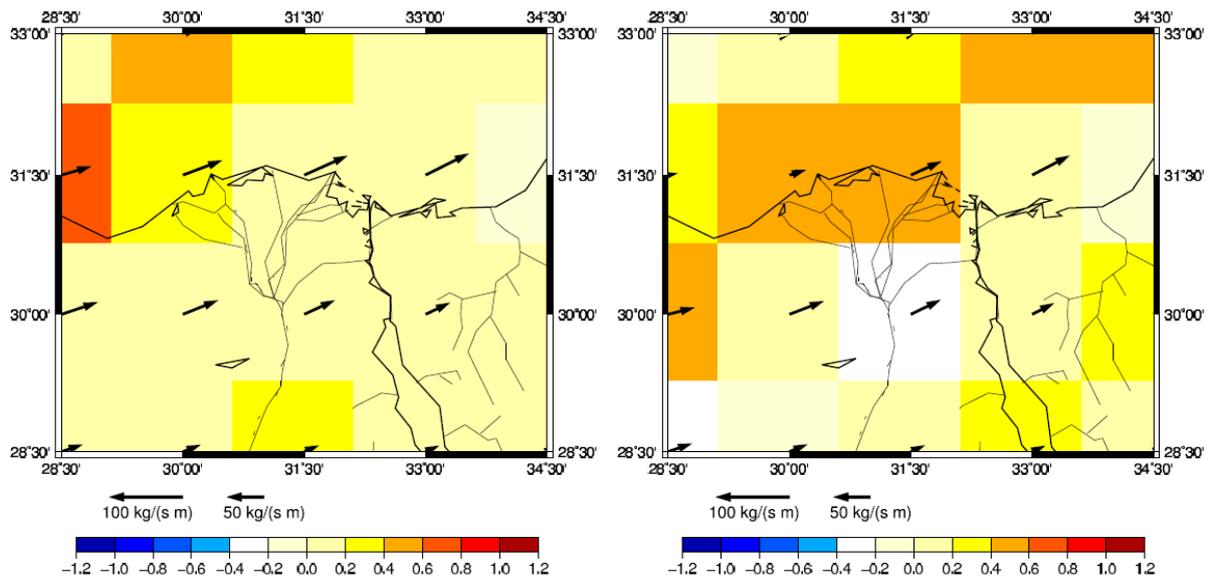
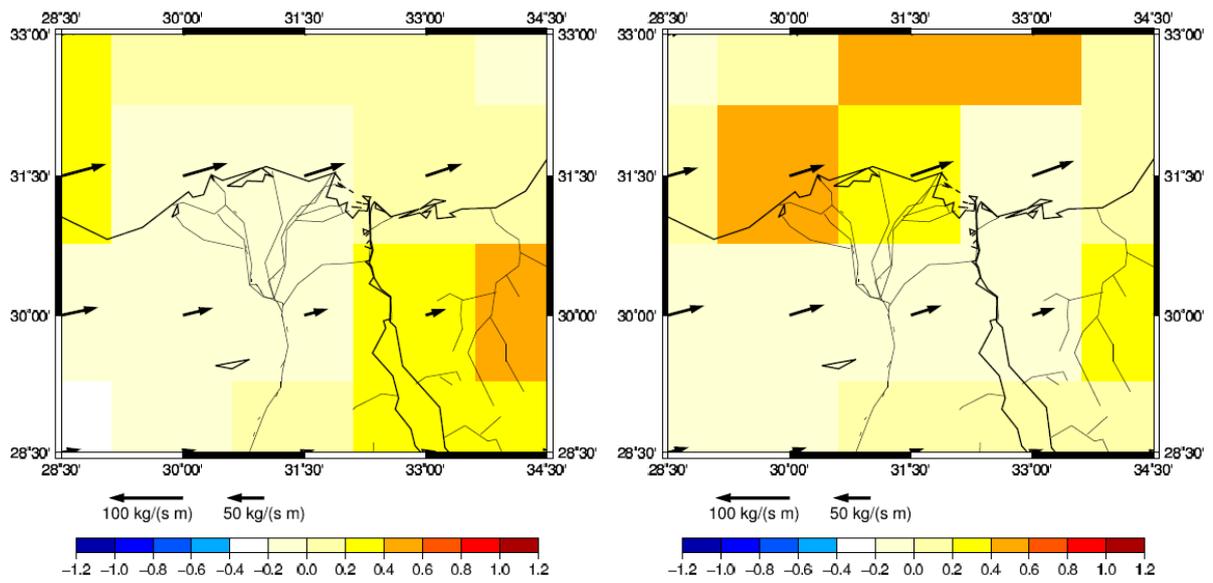


図 67 1 hPa から 600 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 5 月 18 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す.

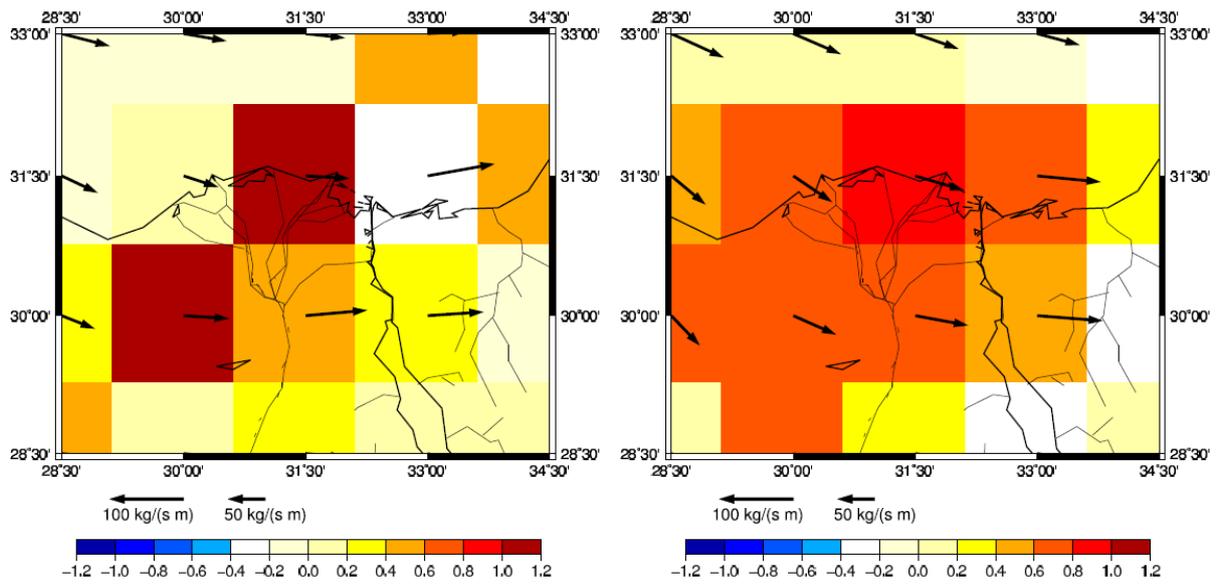
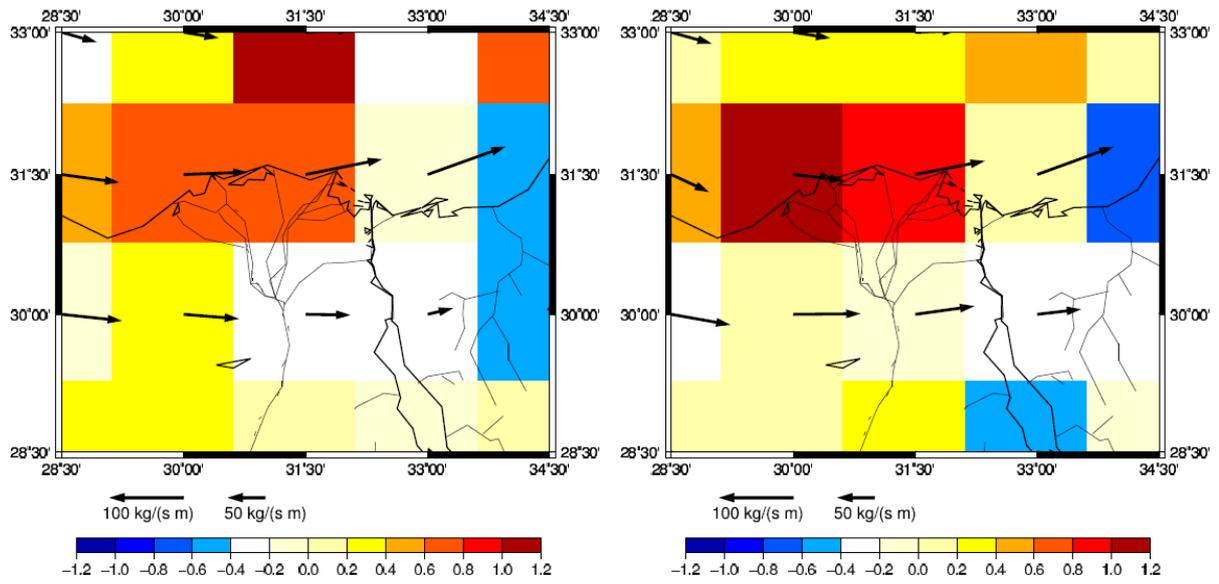


図 68 600hPa から 1000 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布(2010 年 5 月 18 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す.

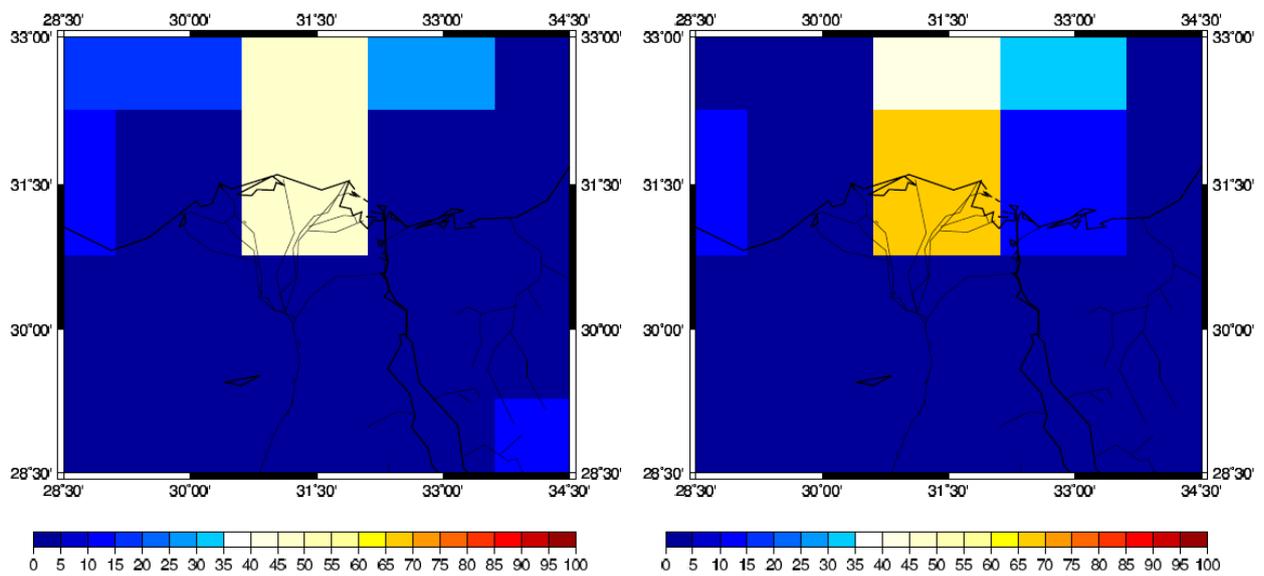
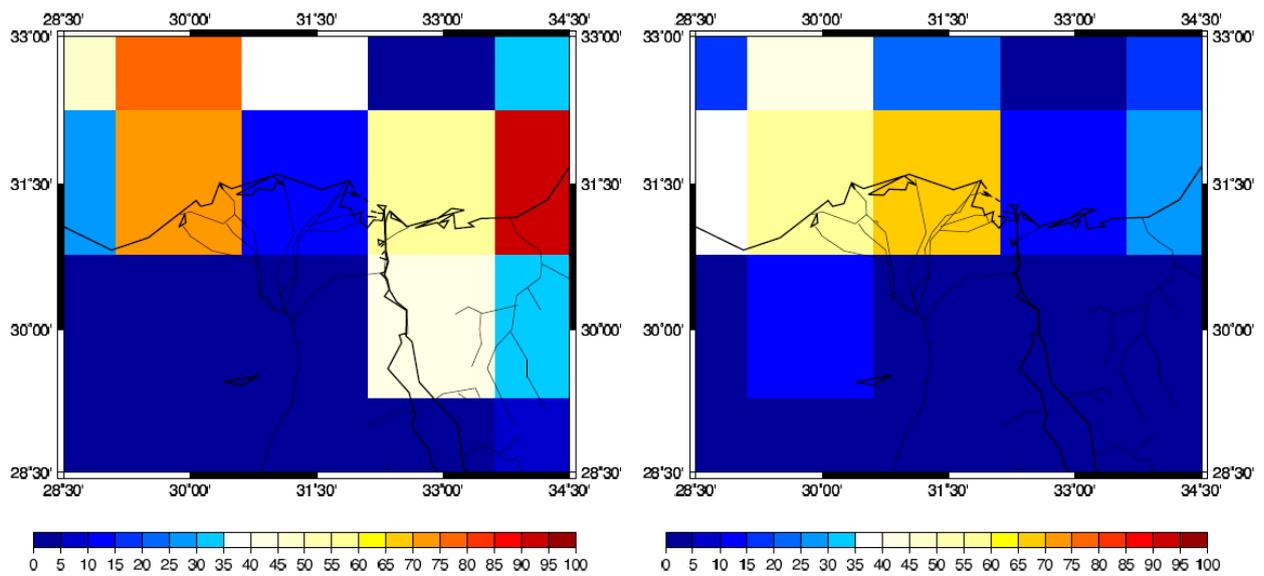


図 69 全雲量分布の分布 (2010 年 8 月 8 日)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

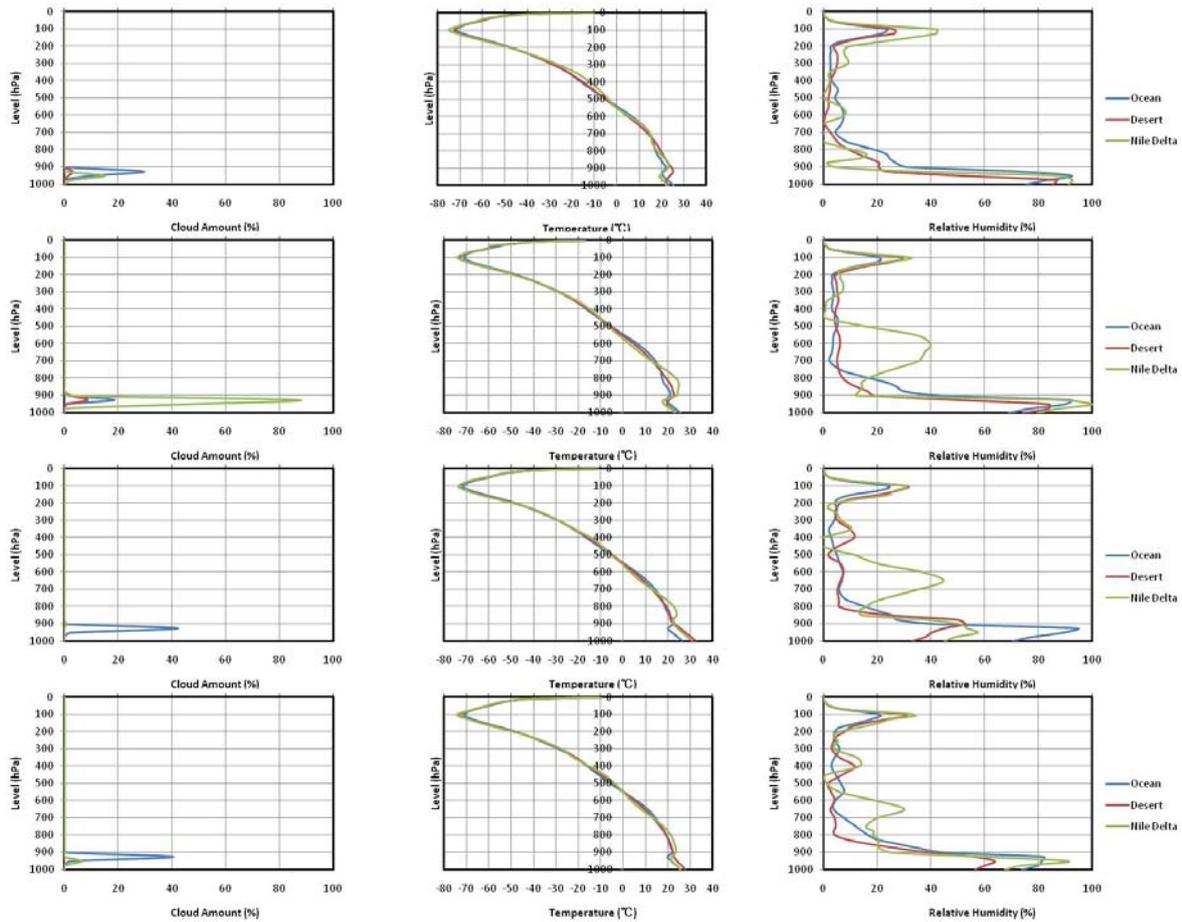


図 70 時間別気象要因高度分布 (2010年8月8日)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 5 持ち上げ凝結高度 (2010年8月8日, hPa)

Time	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	954	984	961
0600 UTC	919	941	941
1200 UTC	919	811	883
1800 UTC	949	884	917

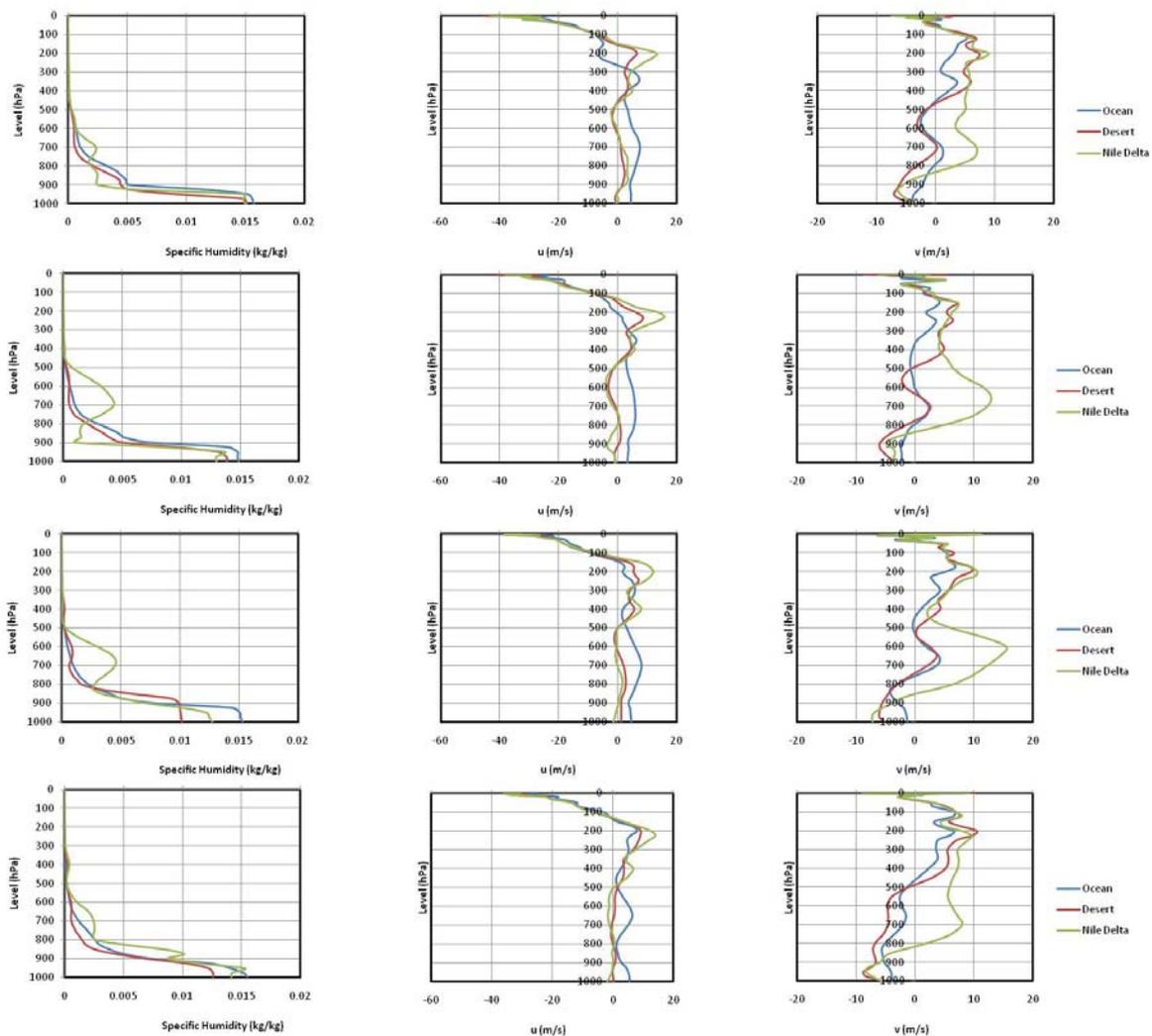


図 71 時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 8 月 8 日)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

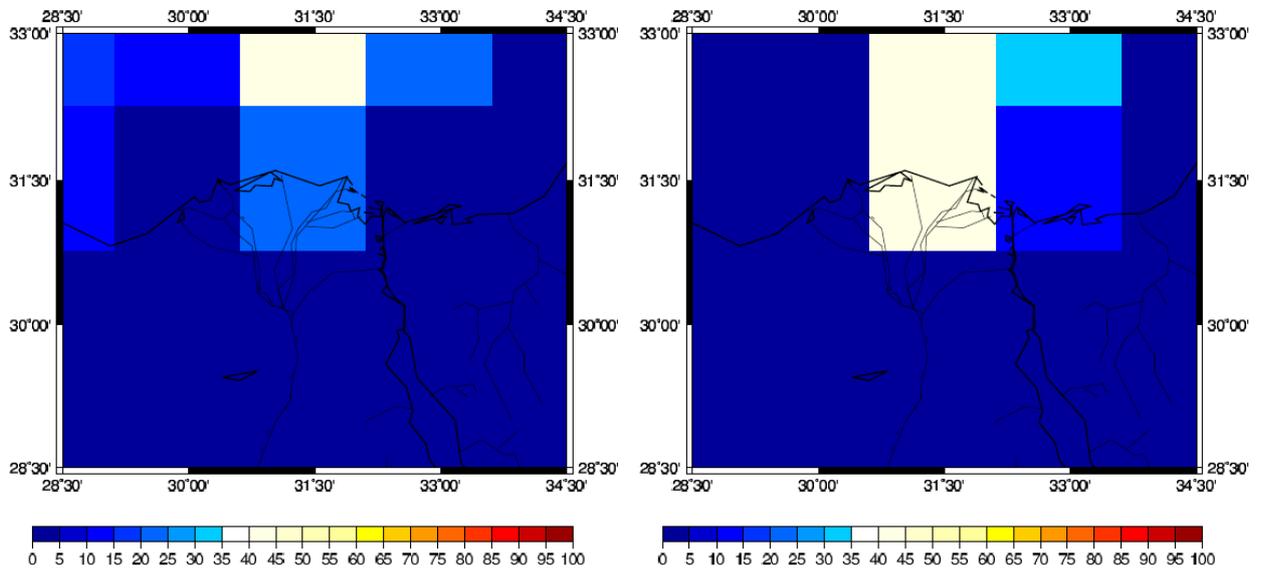
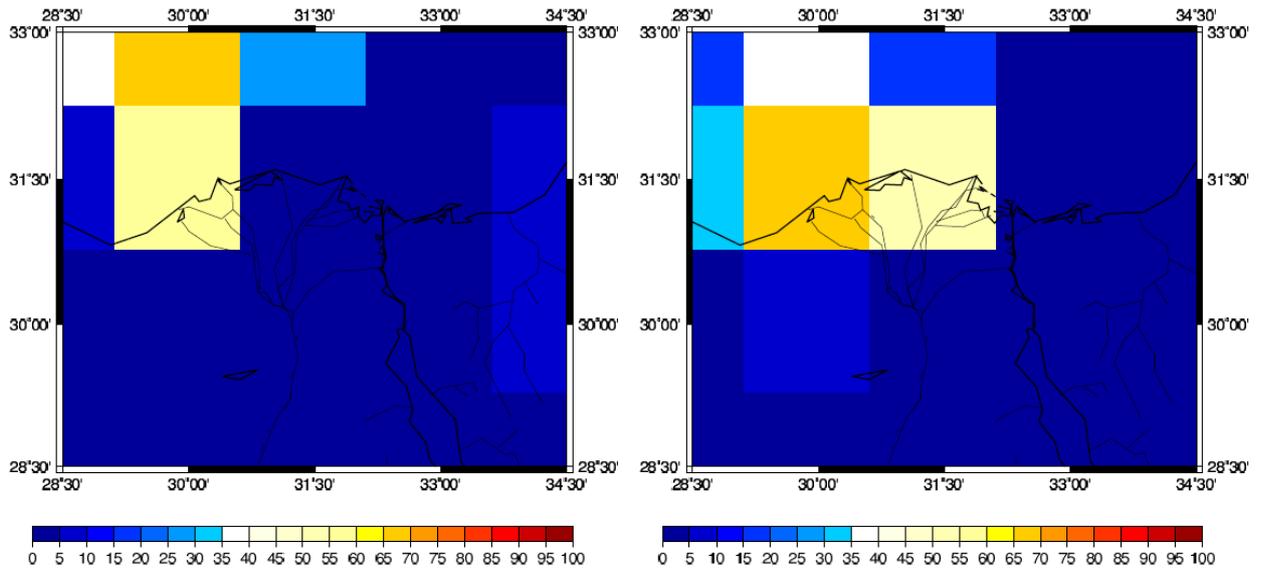


図 72 低層雲の分布図 (2010 年 8 月 8 日 925 hPa)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

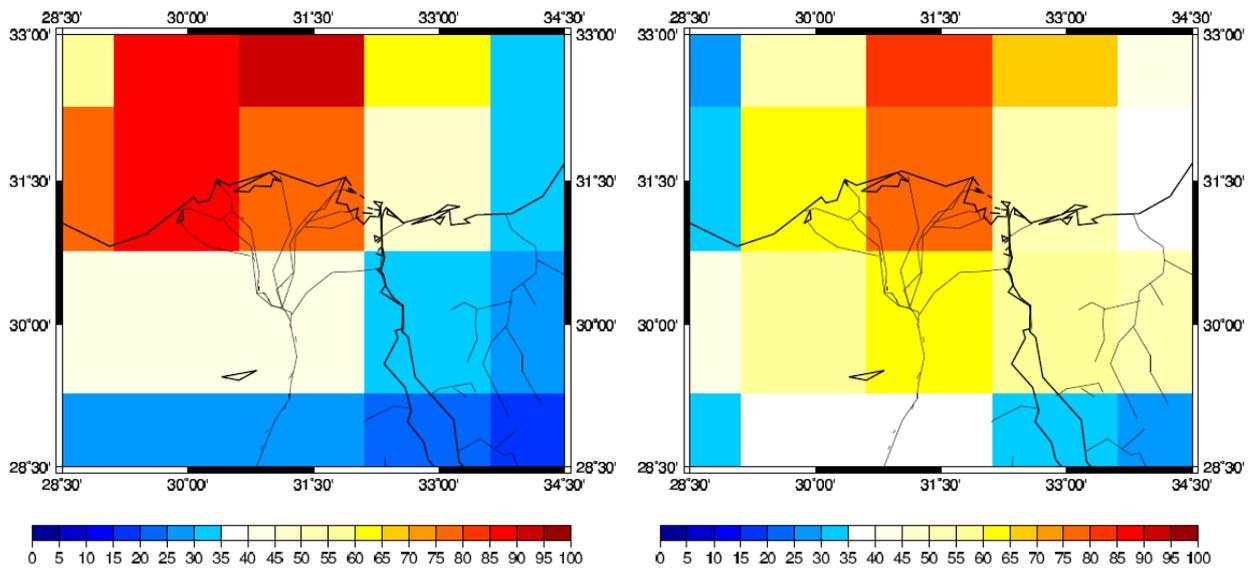
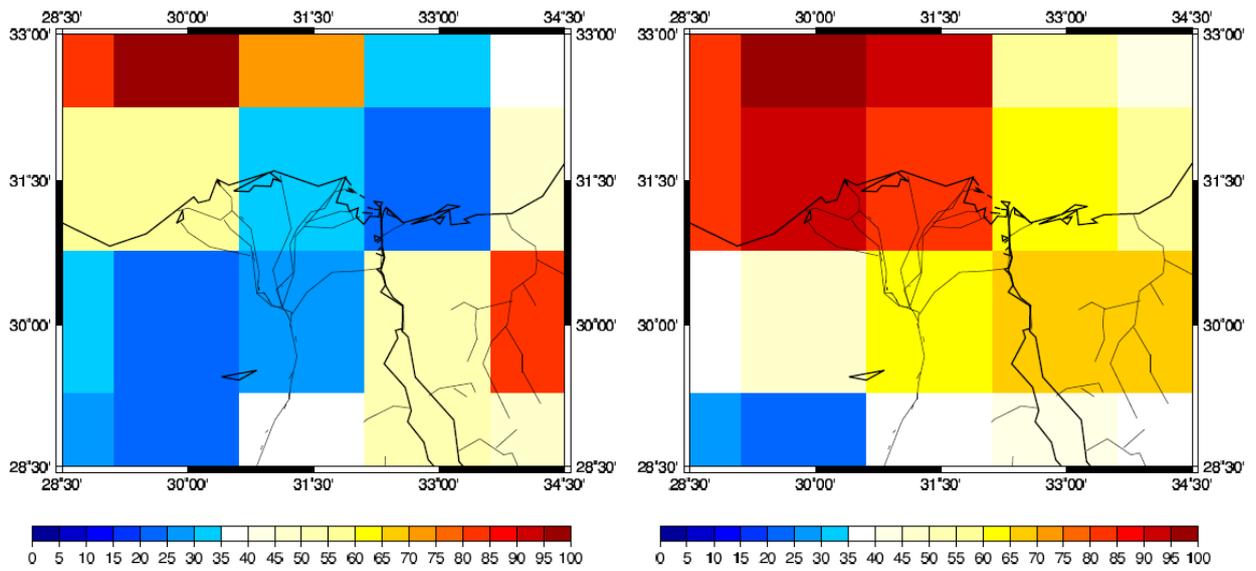


図 73 低層の相対湿度分布図 (2010 年 8 月 8 日 925 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

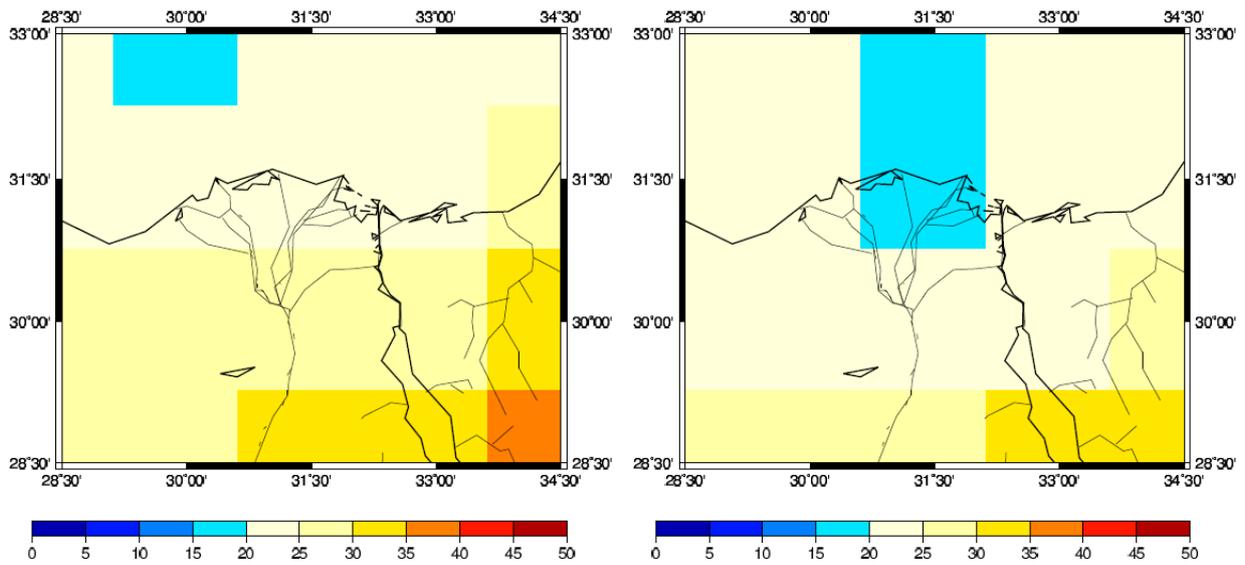
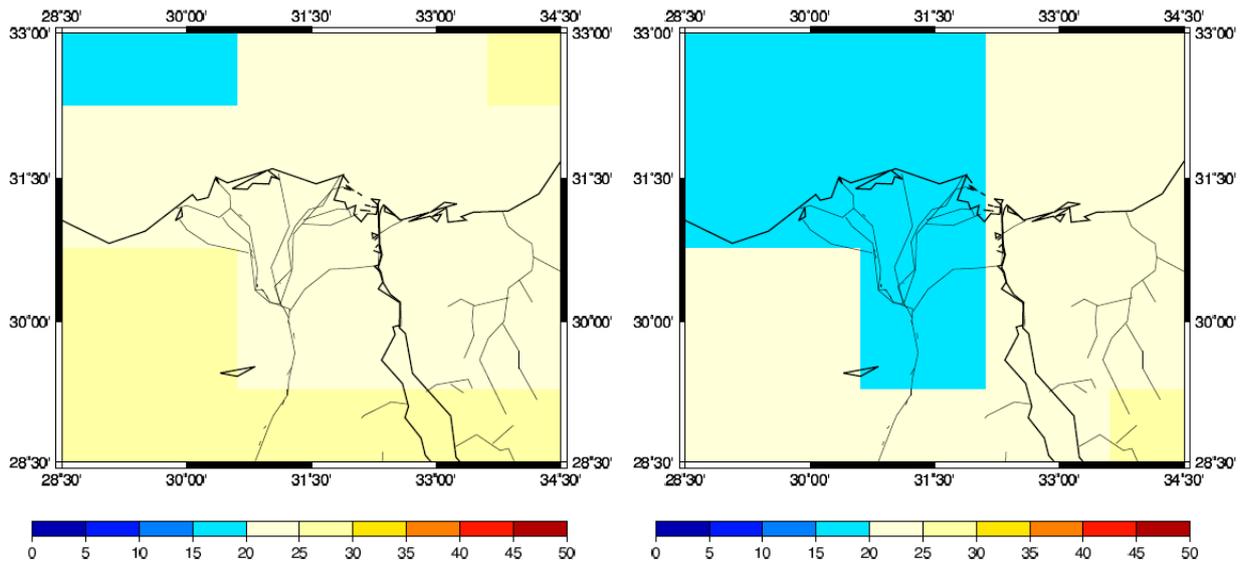


図 74 低層の気温の分布図 (2010 年 8 月 8 日, 925 hPa)

左上 : 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は°C

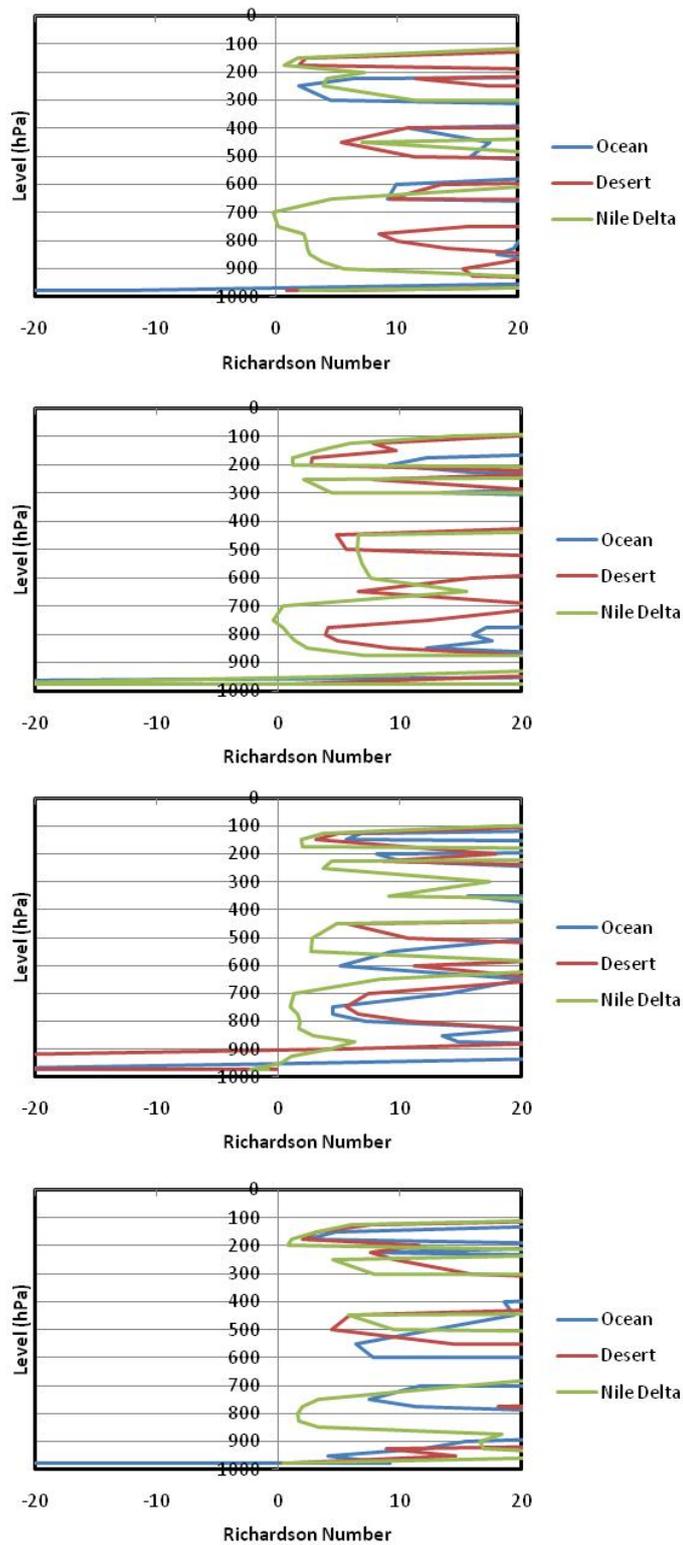


図 75 大気の安定度 (2010 年 8 月 8 日)

上から 0000 UTC (前の日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前の日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

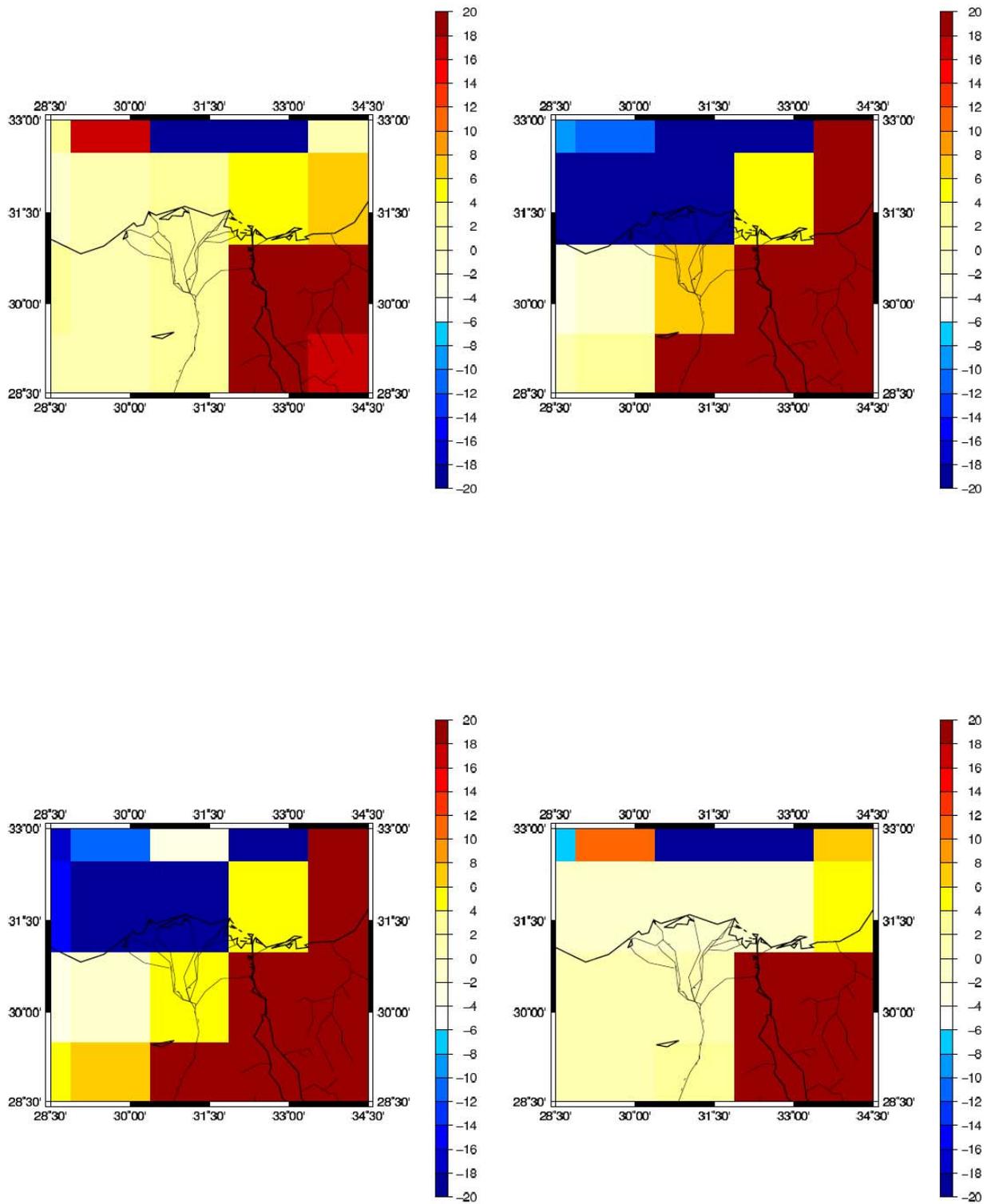


図 76 大気安定度の分布 (2010年8月8日, 987.5 hPa)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

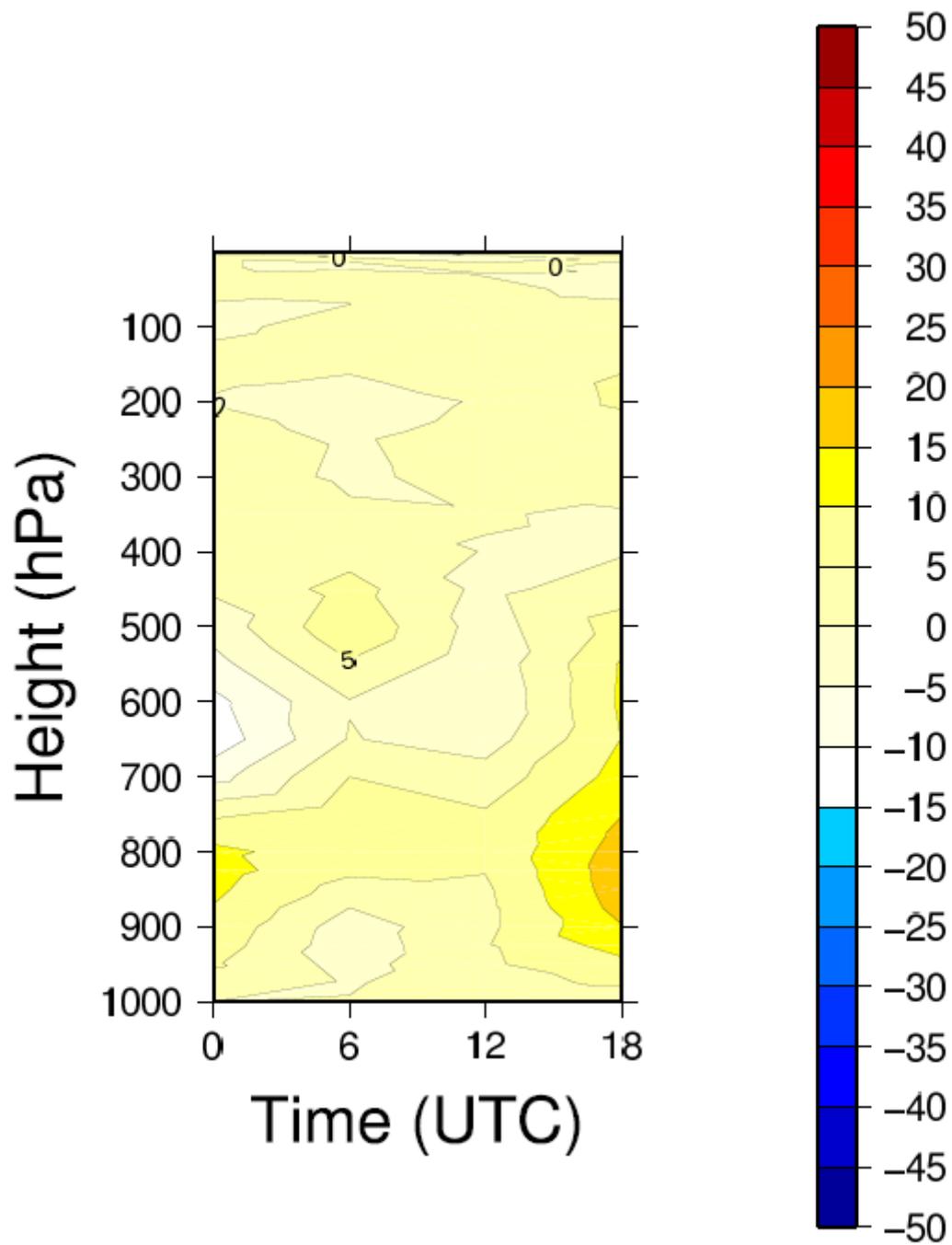


図 77 海上での鉛直風速 (2010 年 8 月 8 日)

正が下降流, 負が上昇流

単位は  $\times 10^{-3}$  m/s

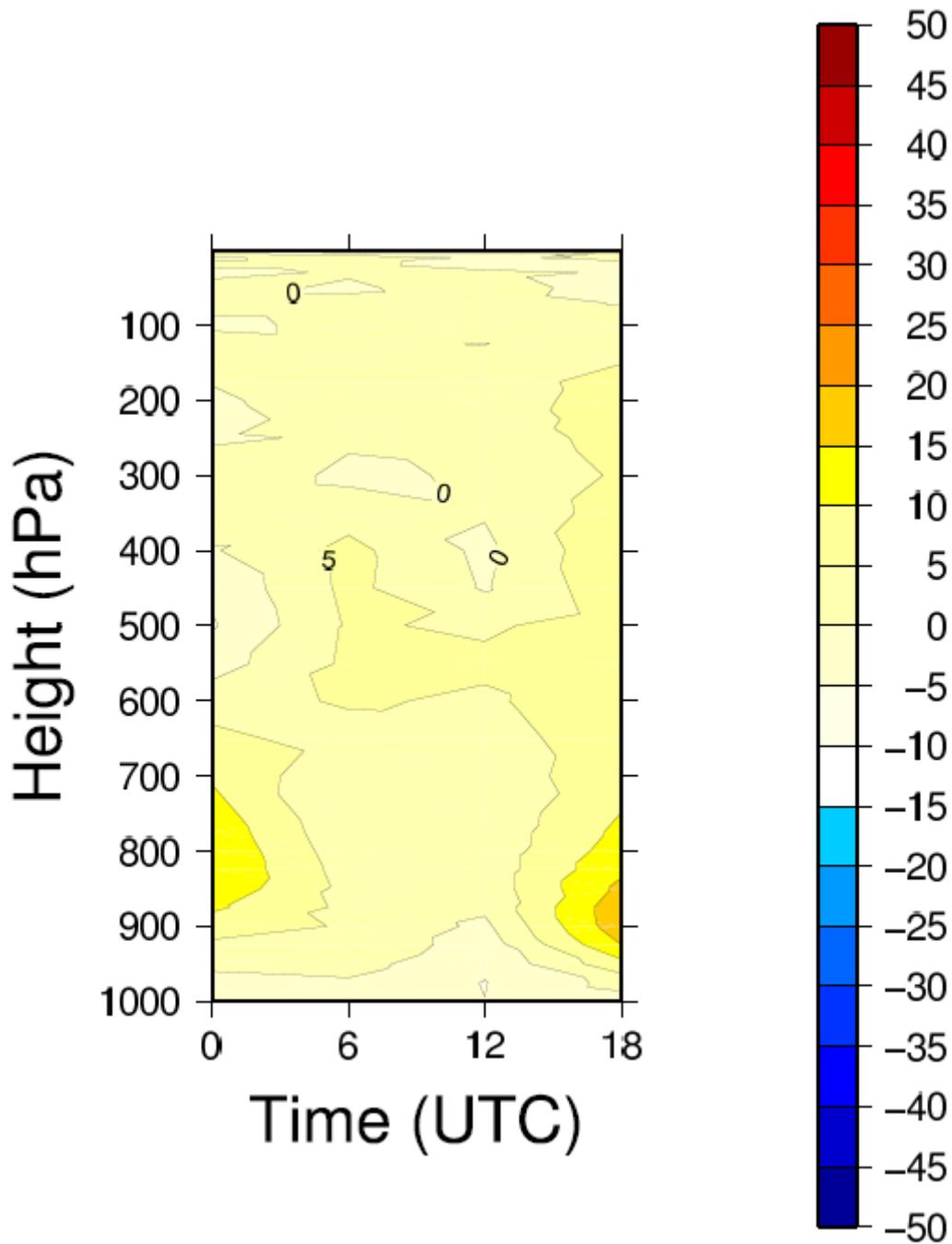


図 78 砂漠上での鉛直風速 (2010 年 8 月 8 日)

正が下降流, 負が上昇流

単位は  $\times 10^{-3}$  m/s

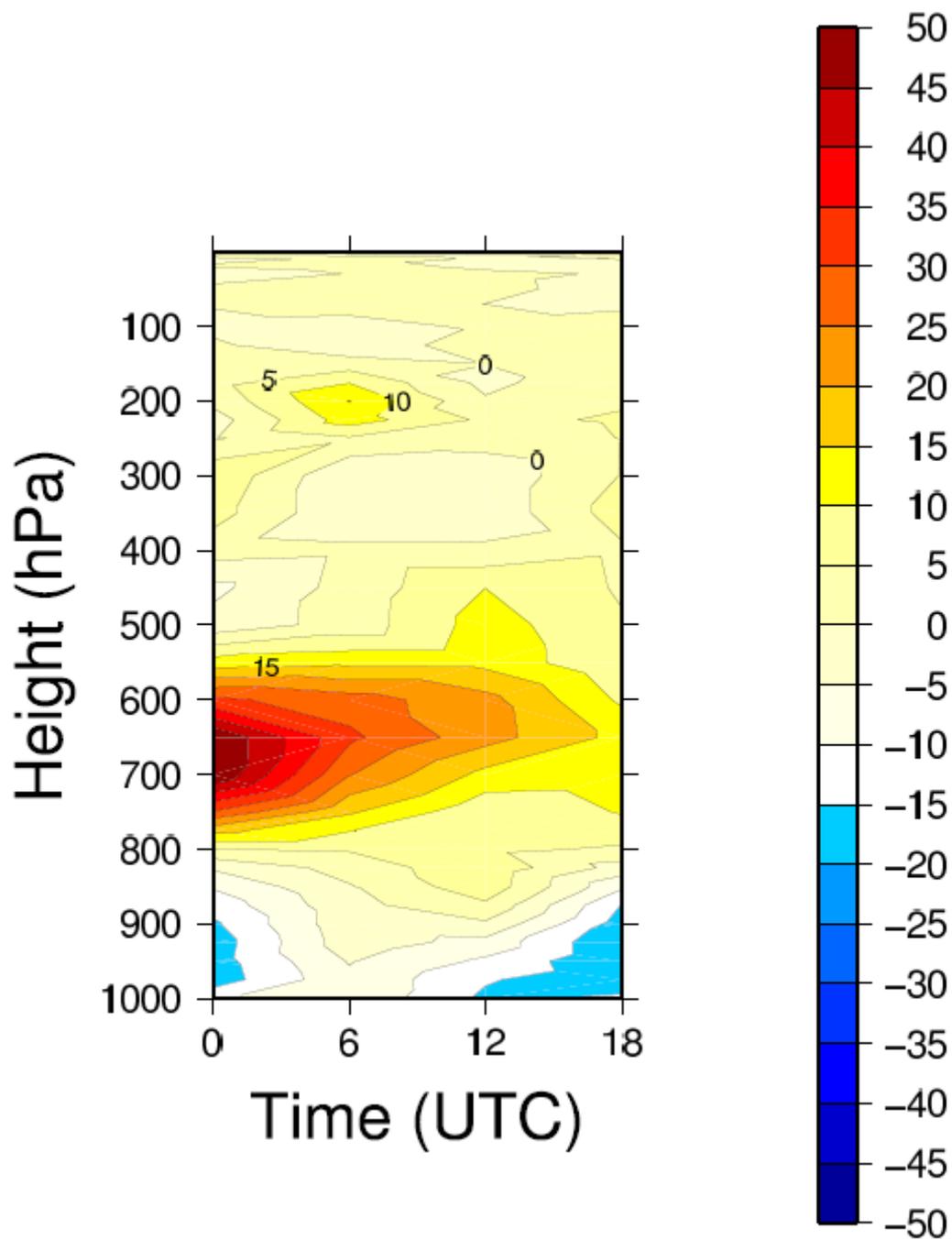


図 79 ナイルデルタ上での鉛直風速 (2010 年 8 月 8 日)

正が下降流, 負が上昇流

単位は  $\times 10^{-3}$  m/s

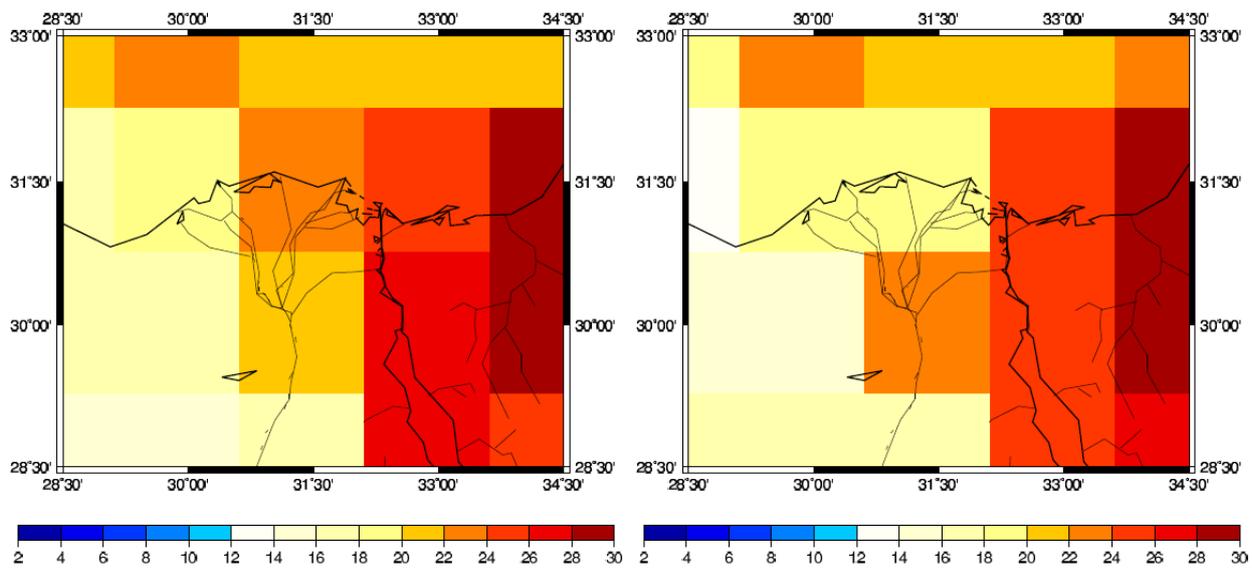
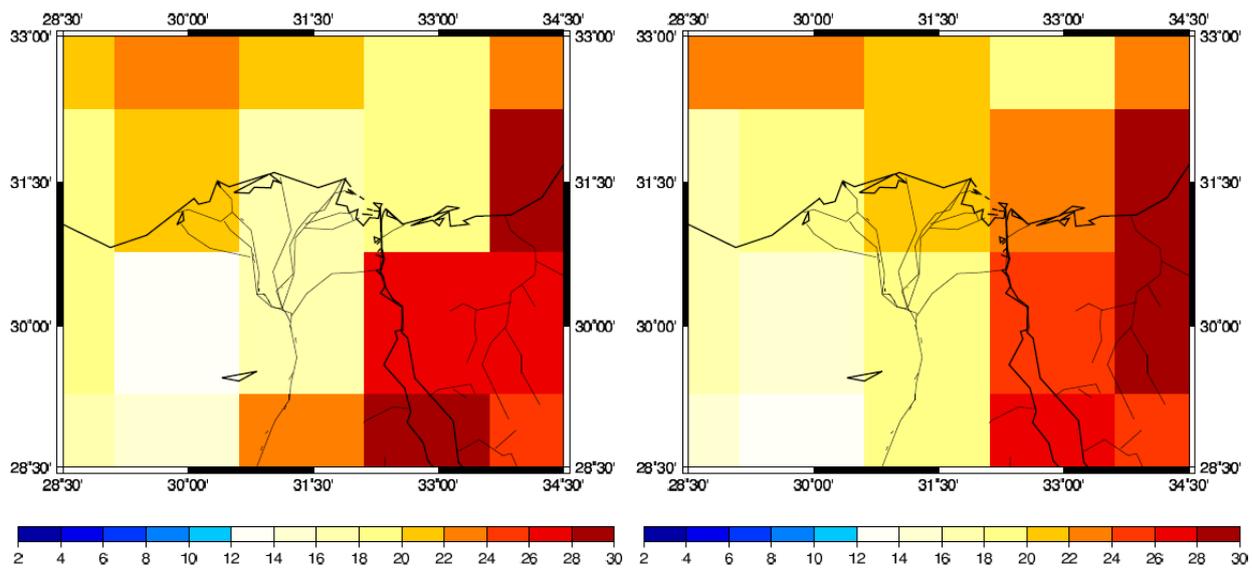


図 80 可降水量の分布図 (2010 年 8 月 8 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

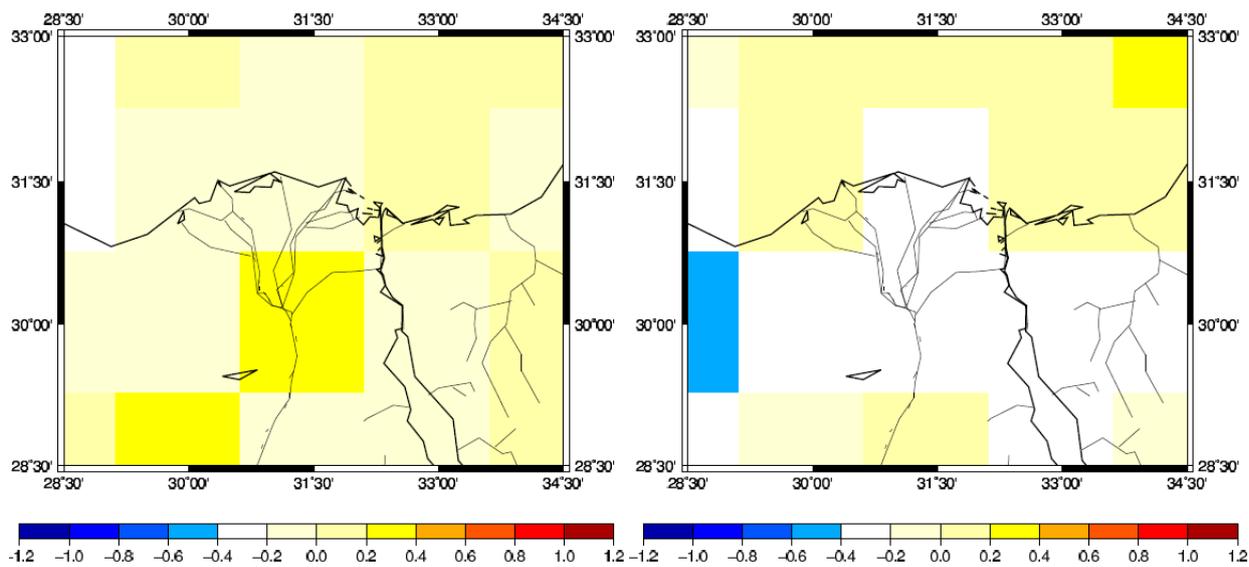
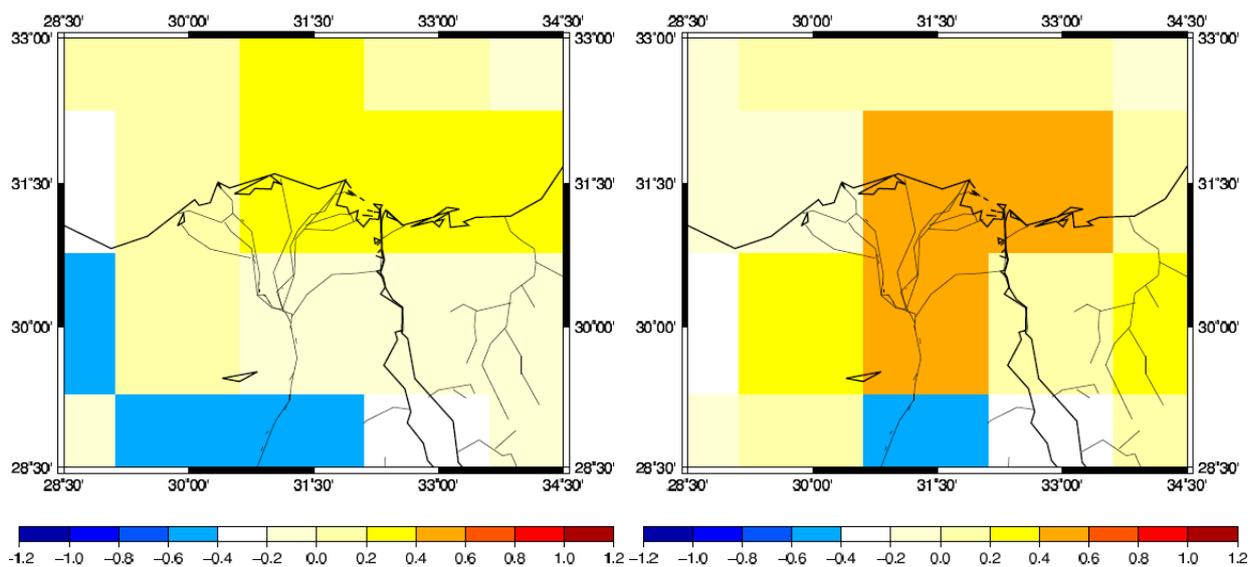


図 81 可降水量の時間変化分布図 (2010 年 8 月 8 日)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

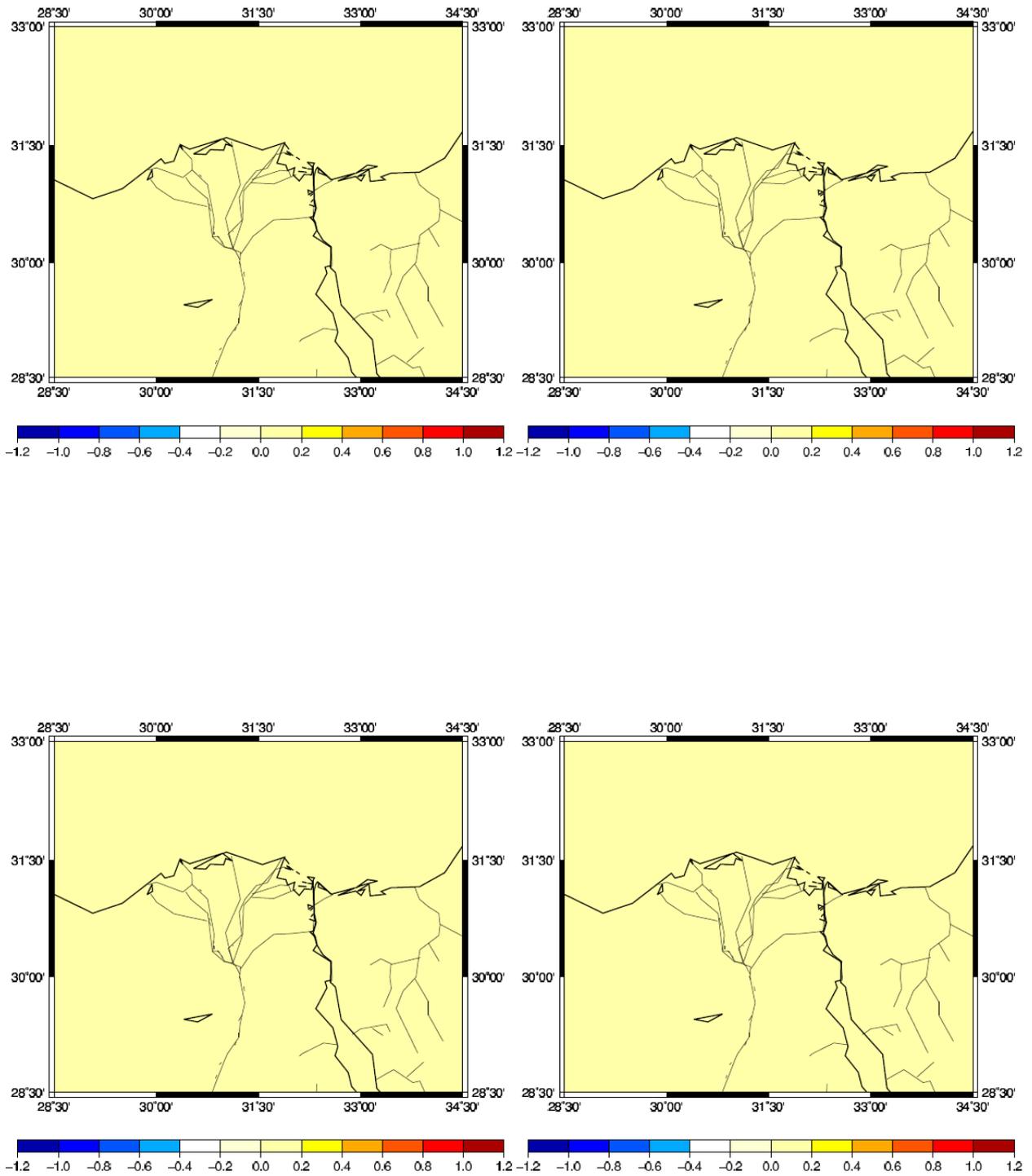


図 82 降水量の分布図 (2010 年 8 月 8 日)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (前日の 0400 UTC~当日の 0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

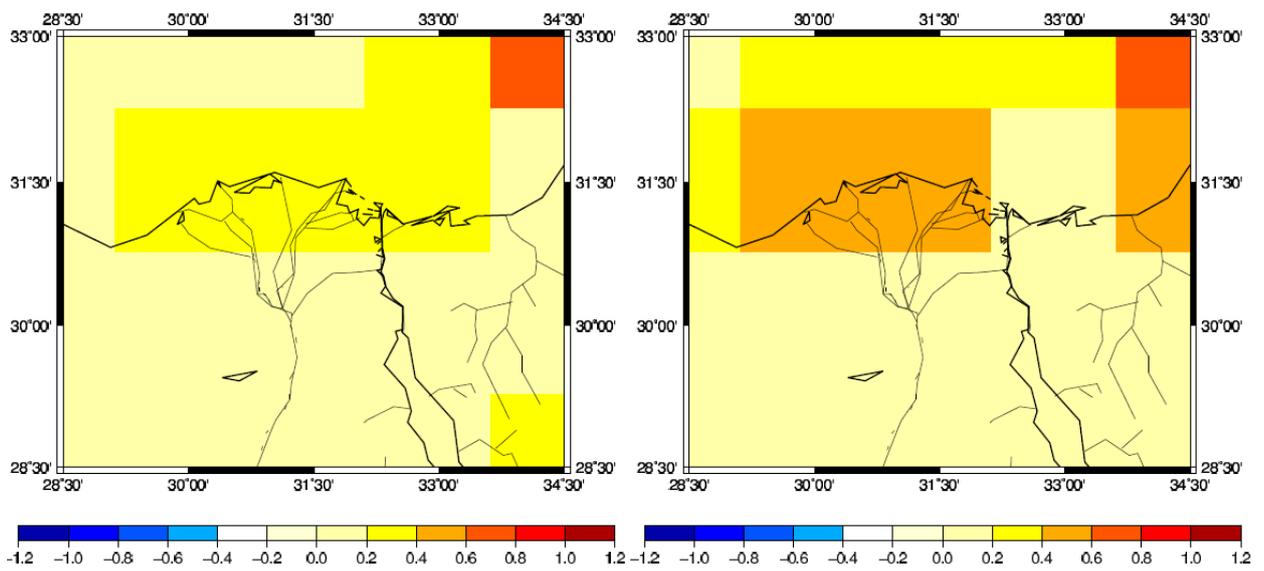
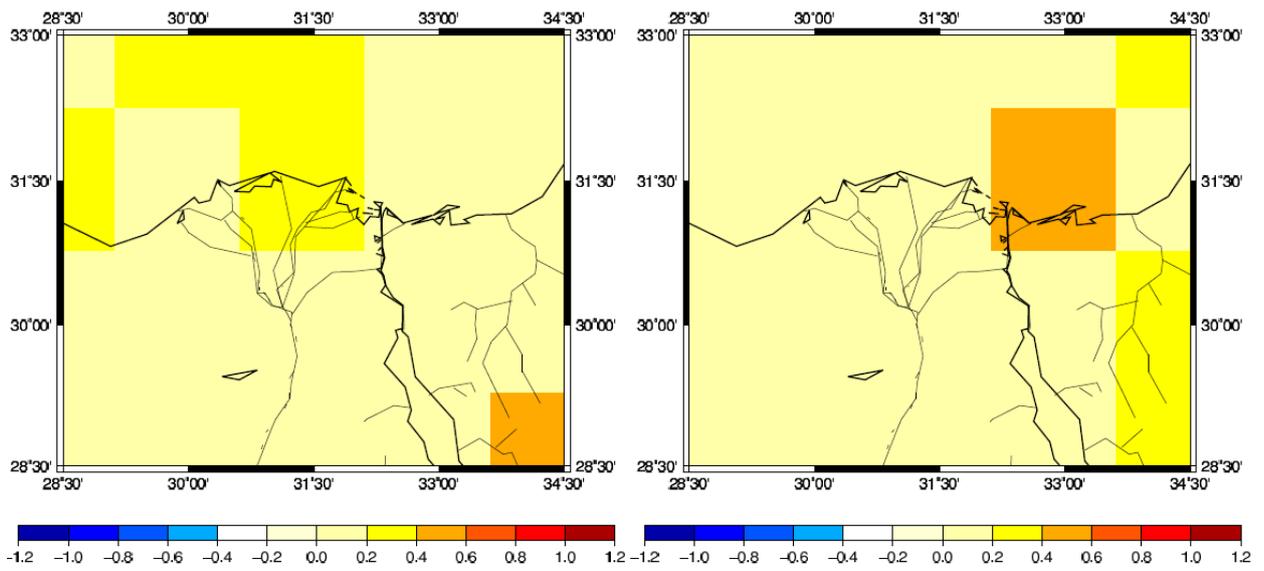


図 83 蒸発散量の分布図 (2010 年 8 月 8 日)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

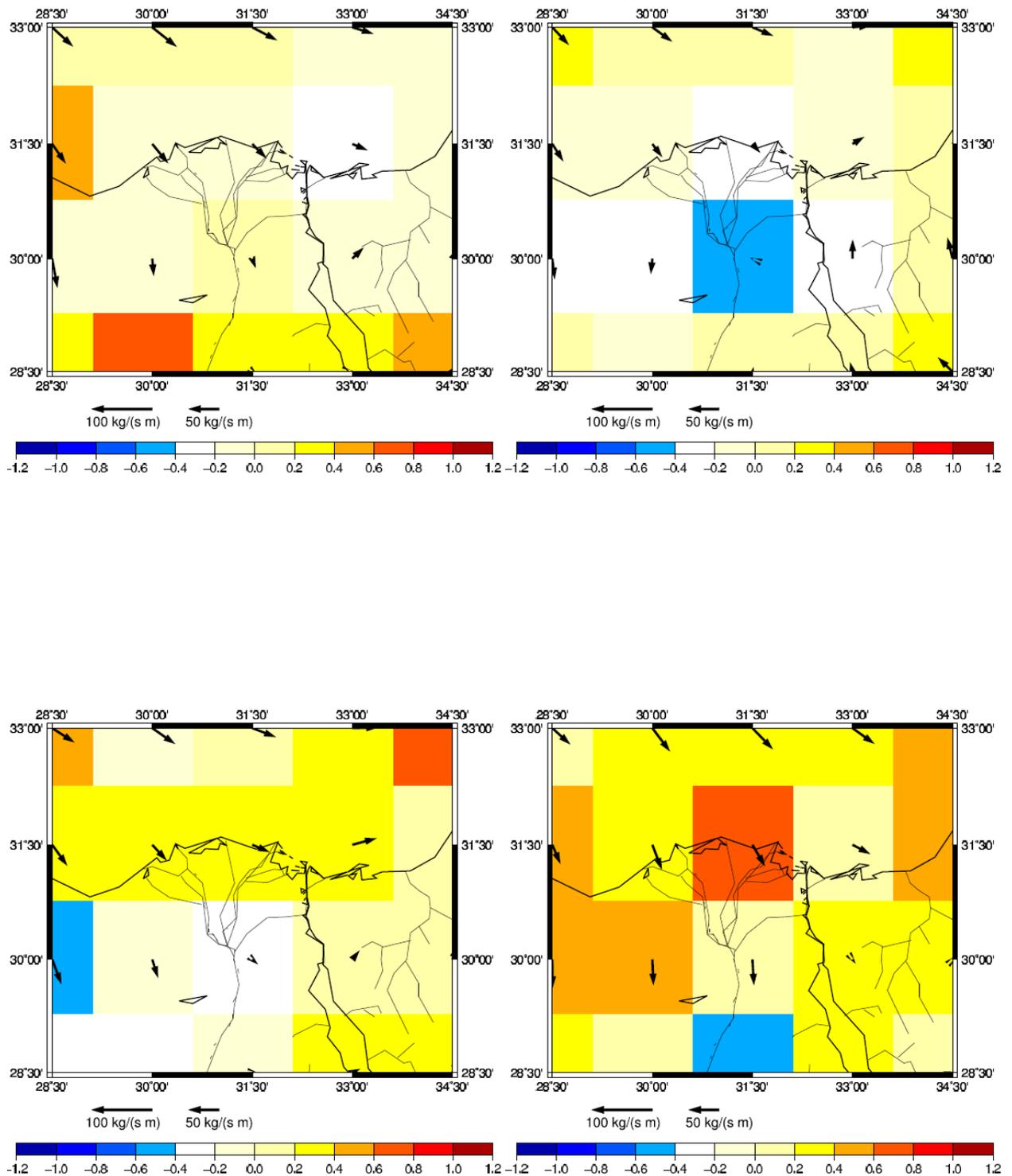


図 84 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010年8月8日)

左上：0000 UTC 右上：0600 UTC 左下：1200 UTC 右下：1800 UTC 単位は mm/hour

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す。

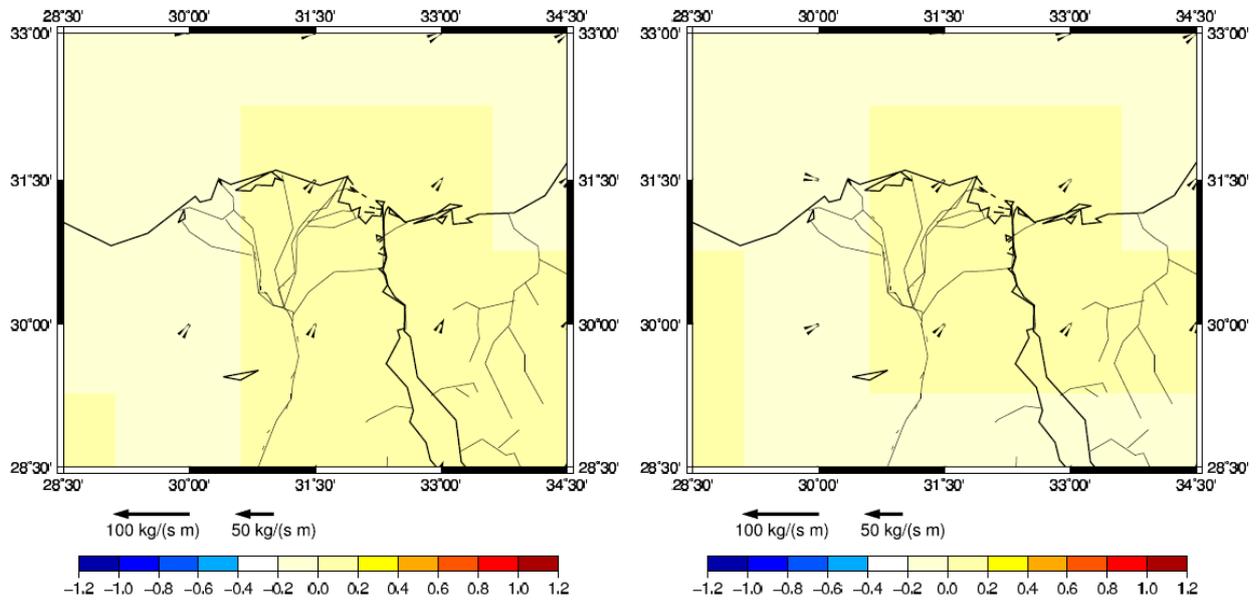
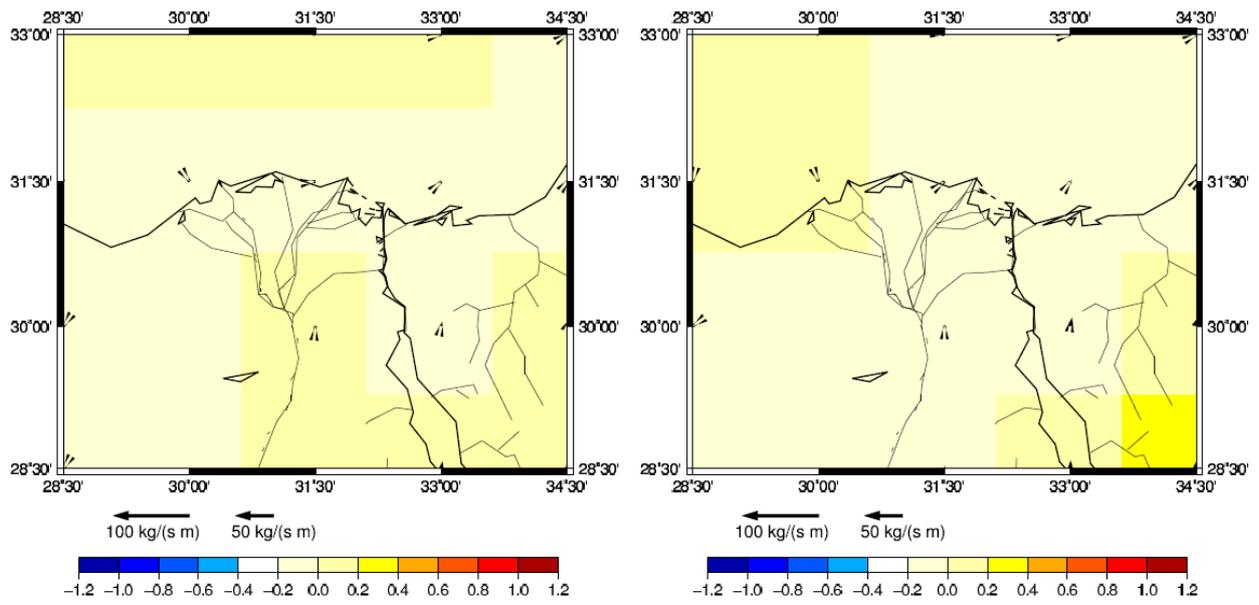


図 85 1 hPa から 600 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 8 月 8 日)  
 左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour  
 矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す。

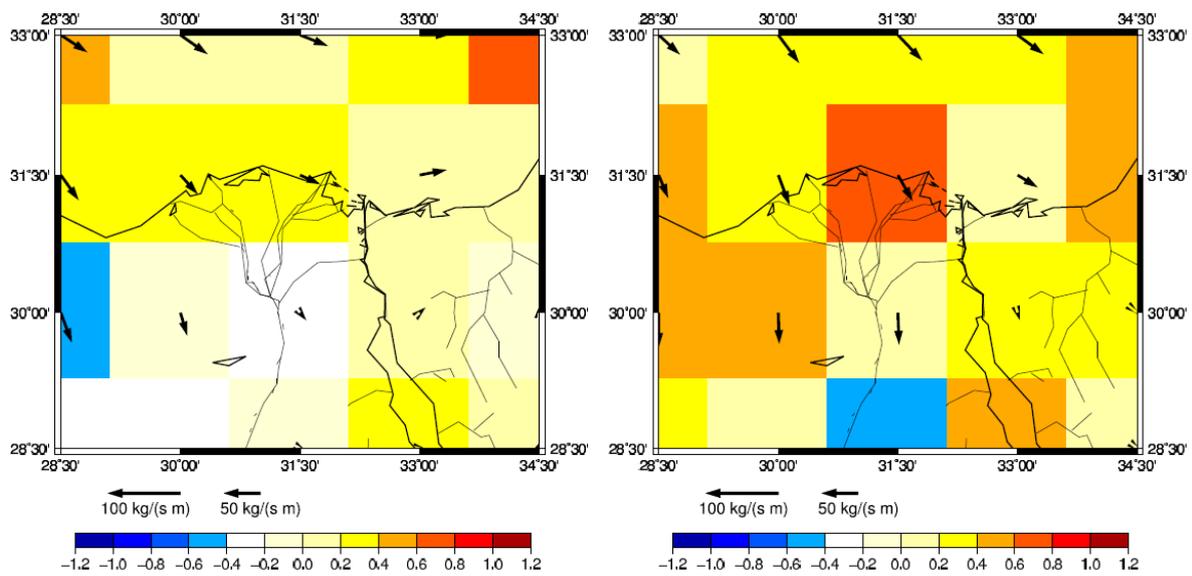
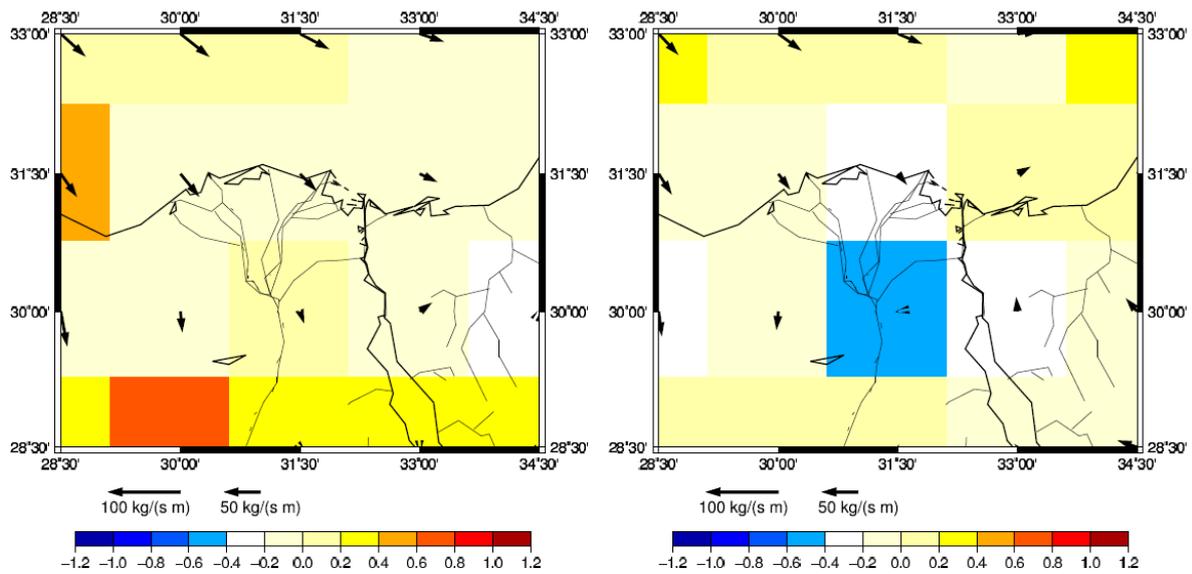


図 86 600 hPa から 1000 hPa の水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布 (2010 年 8 月 8 日)  
 左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour  
 矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す.

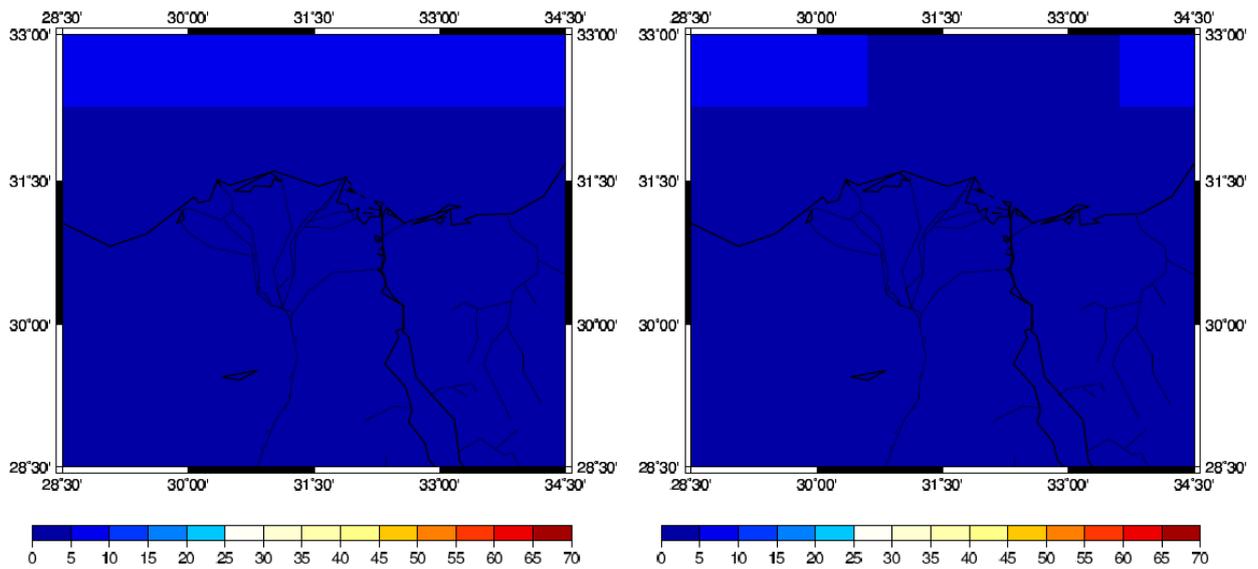
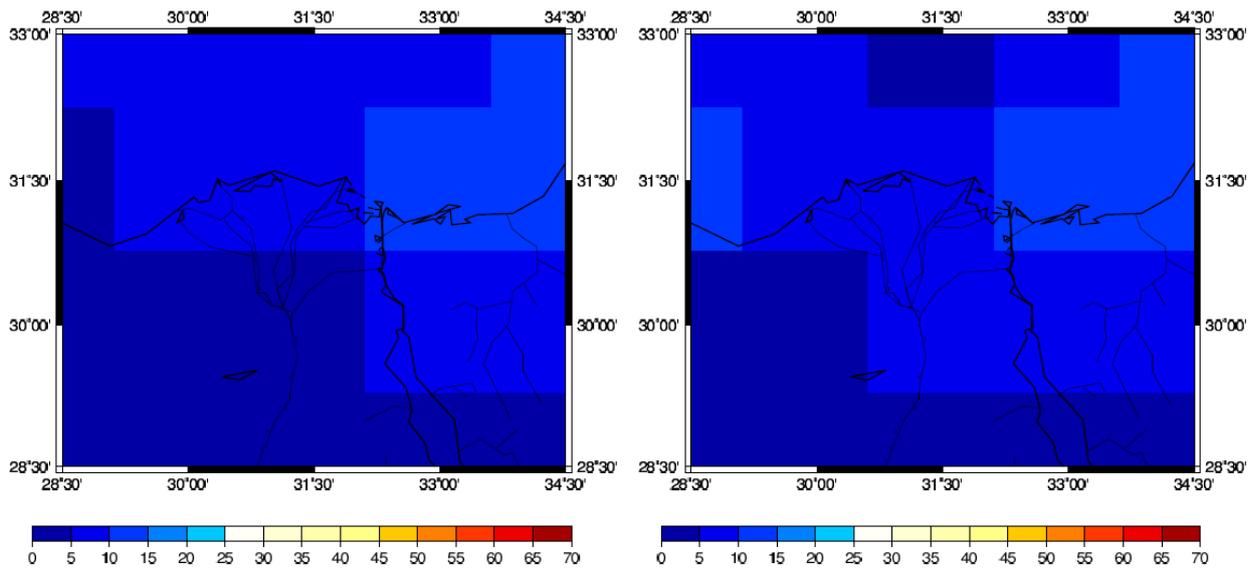


図 87 全雲量分布の分布 (2009 年 9 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

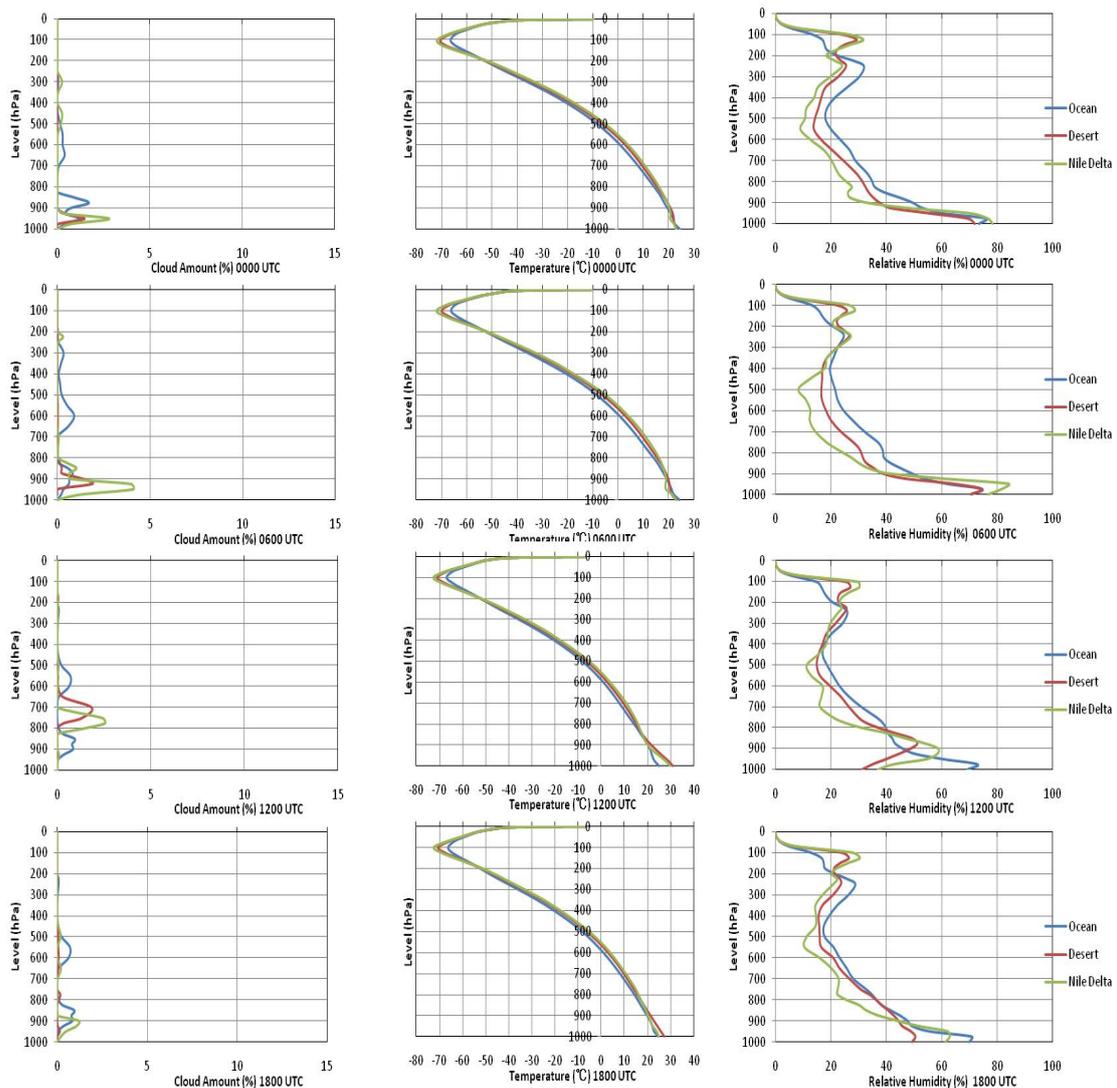


図 88 時間別気象要因高度分布 (2009 年 9 月平均)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 6 持ち上げ凝結高度 (2009 年 9 月平均, hPa)

Sep	ocean	desert	Nile Delta
0000 UTC	937	945	958
0600 UTC	919	927	948
1200 UTC	917	784	880
1800 UTC	936	876	911

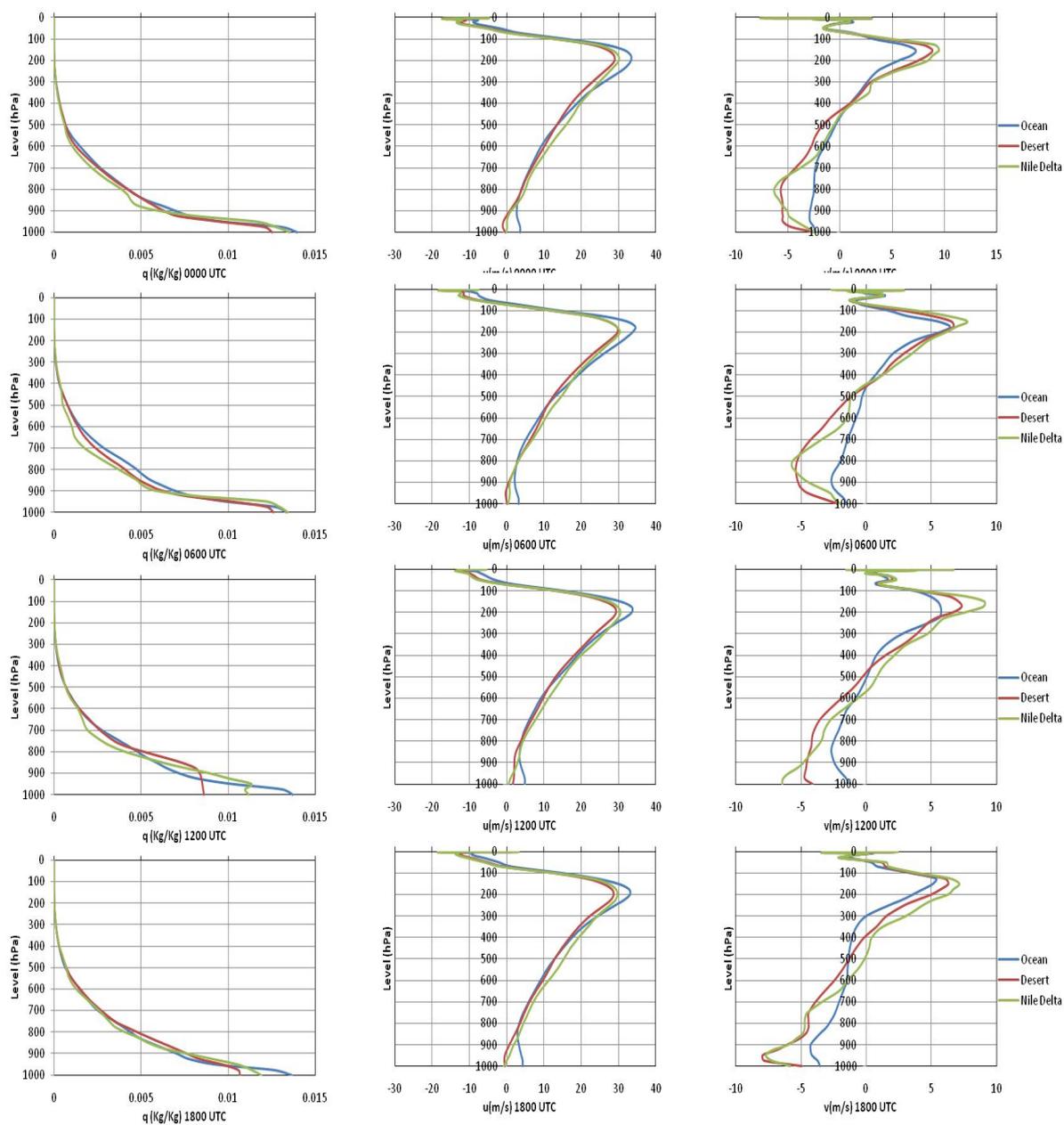


図 89 時間別気象要因高度分布 2 (2009 年 9 月平均)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

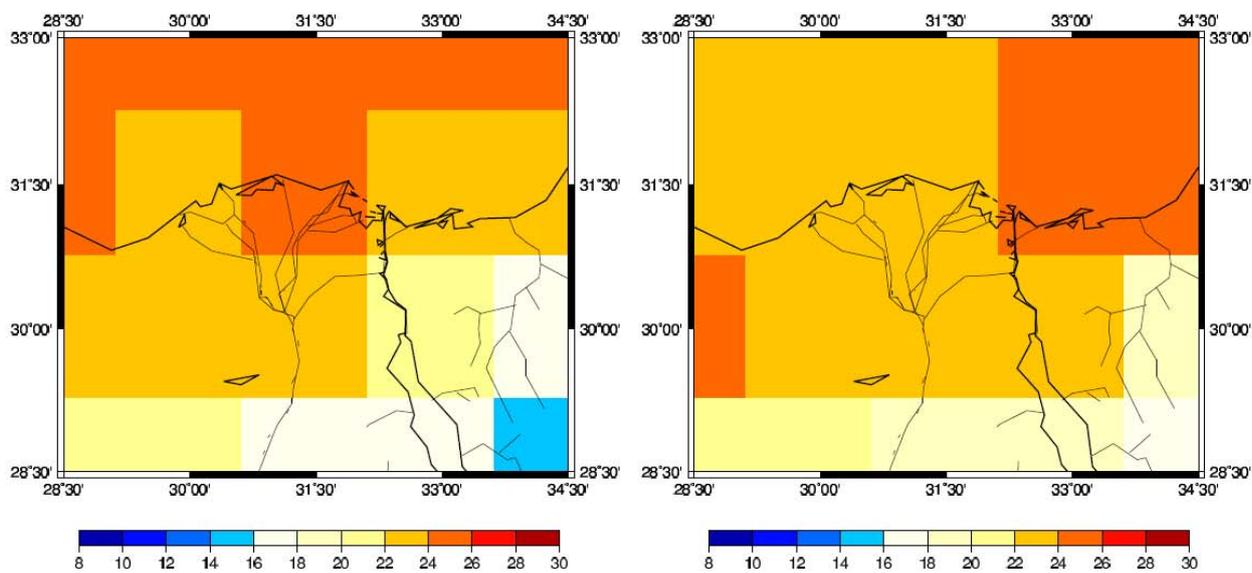
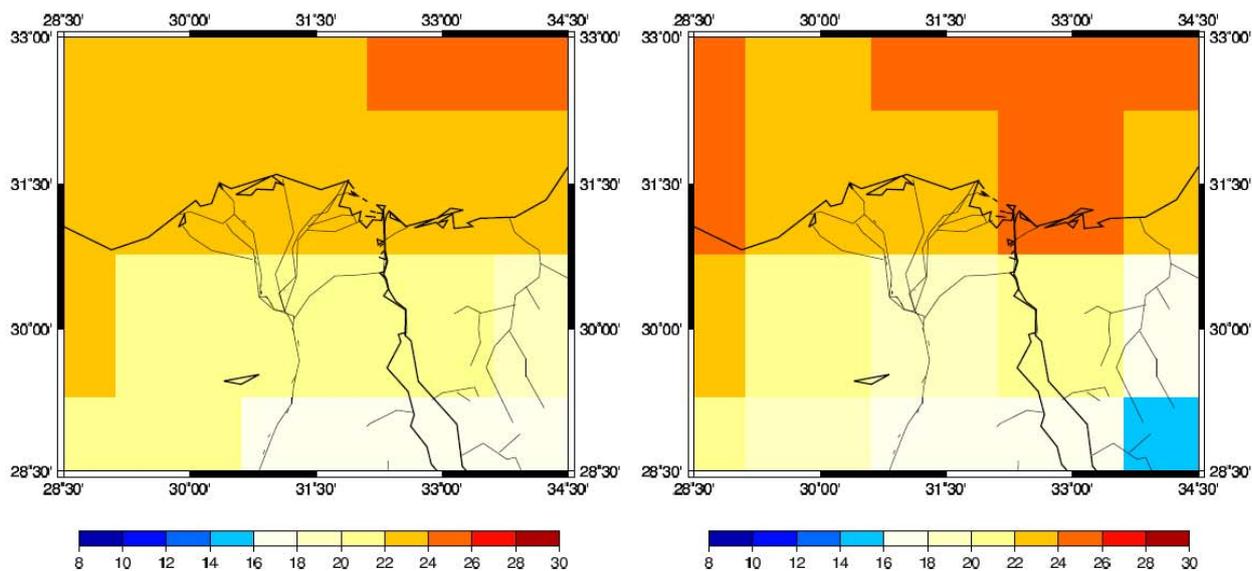


図 90 可降水量の分布図 (2009 年 9 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

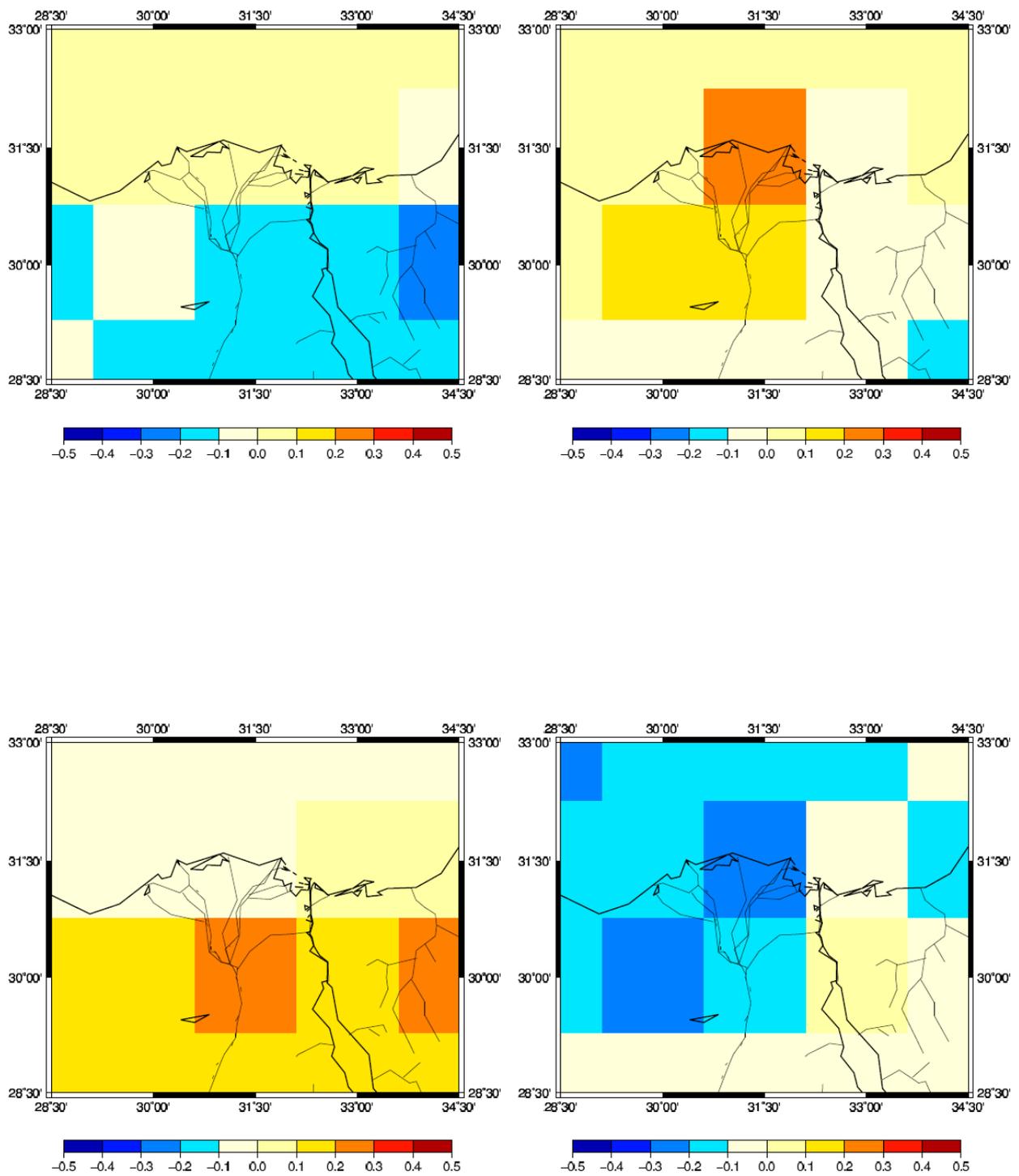


図 91 可降水量の時間変化分布図 (2009 年 9 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

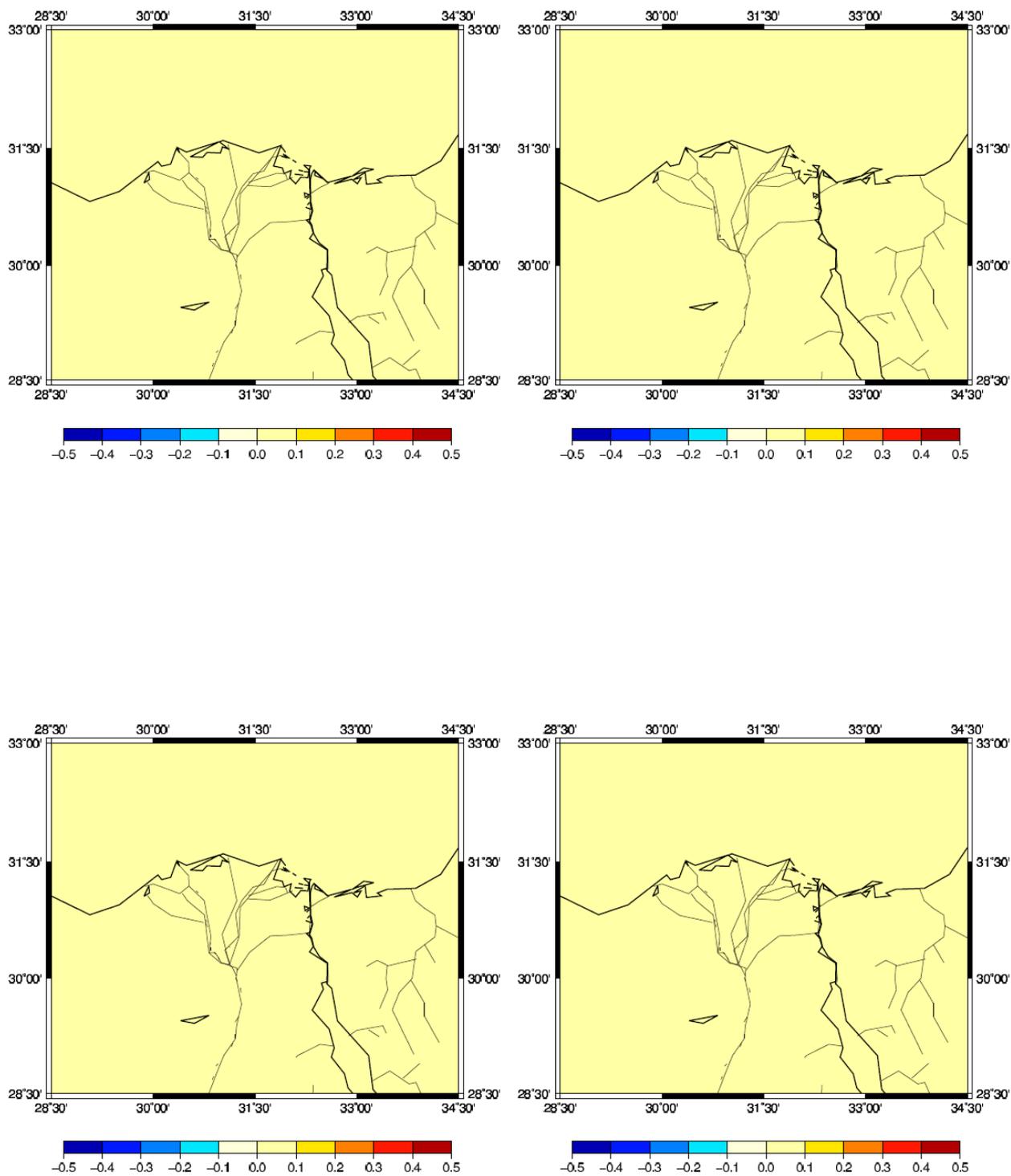


図 92 降水量の分布 (2009 年 9 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

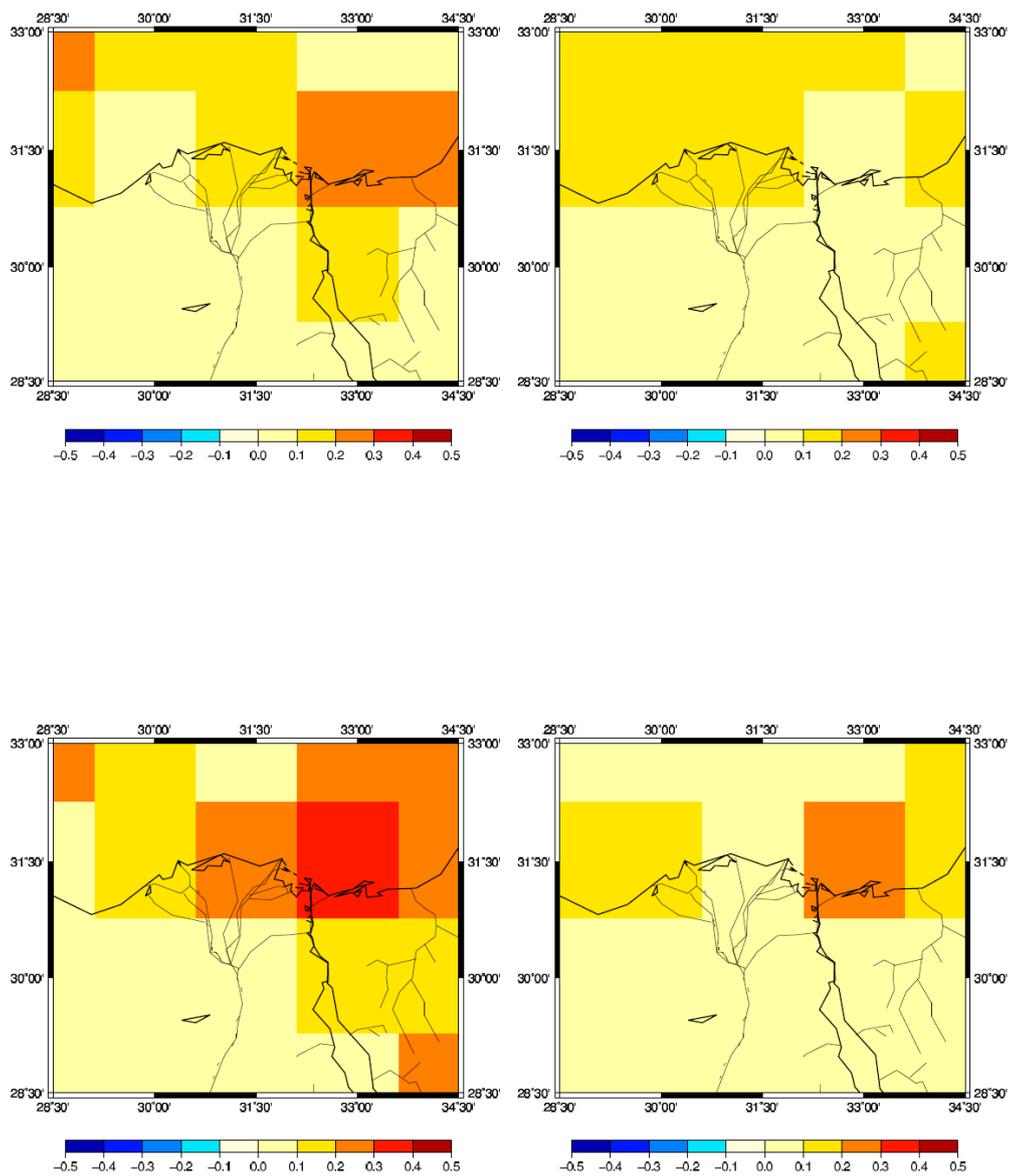


図 93 蒸発散量の分布 (2009 年 9 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

表 7 蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 9 月平均)

September	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	0.01	-0.19	-0.06
0600 UTC	0.10	0.42	-0.02
1200 UTC	0.04	-0.14	0.27
1800 UTC	0.18	0.10	0.27

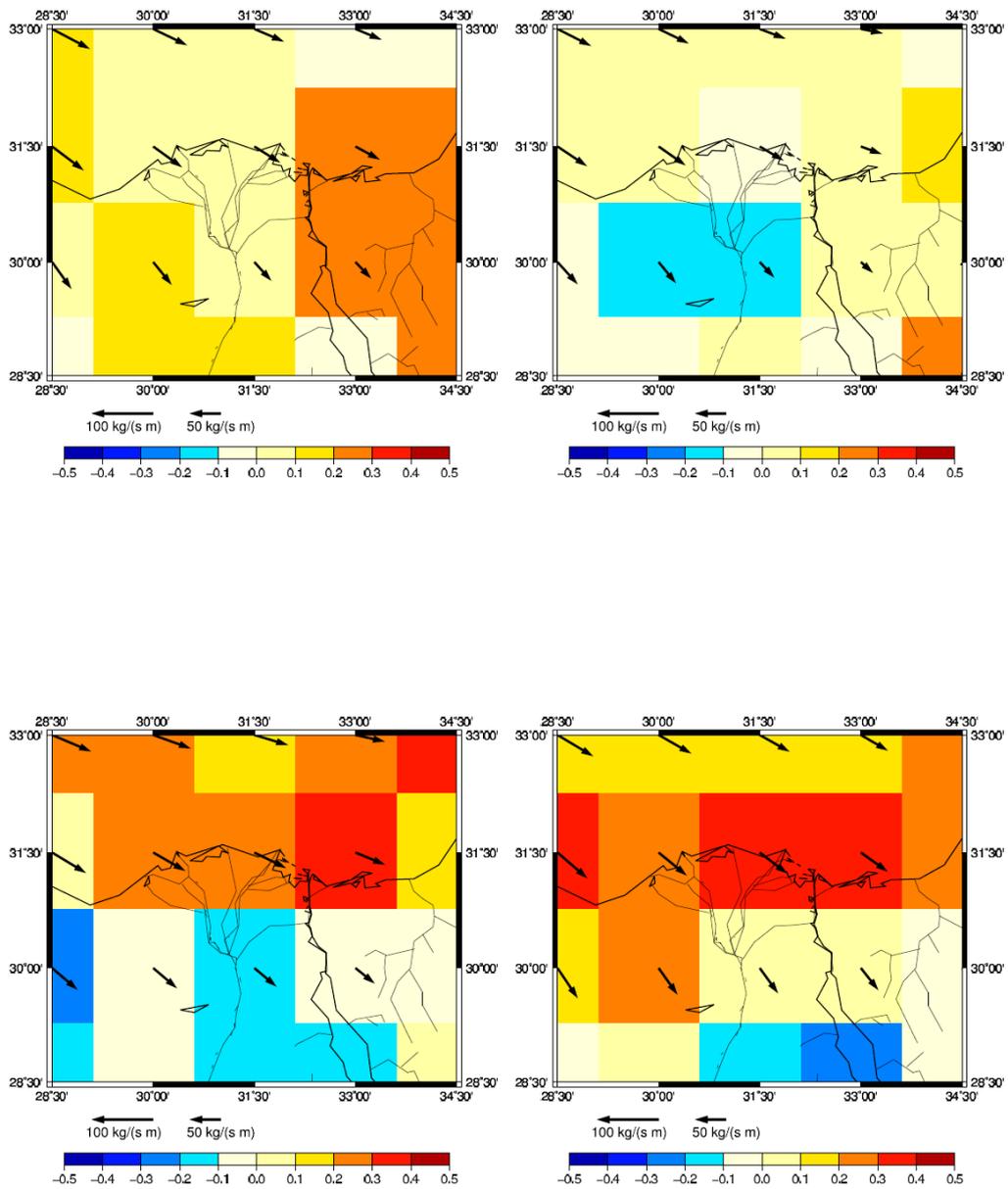


図 94 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2009年9月平均)

左上：0000 UTC 右上：0600 UTC 左下：1200 UTC 右下：1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す。

表 8 水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009年9月平均)

September	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.80	-0.90	-0.82
0600 UTC	-0.76	-0.69	-0.38
1200 UTC	-0.85	-0.82	-0.56
1800 UTC	-0.64	-0.85	-0.45

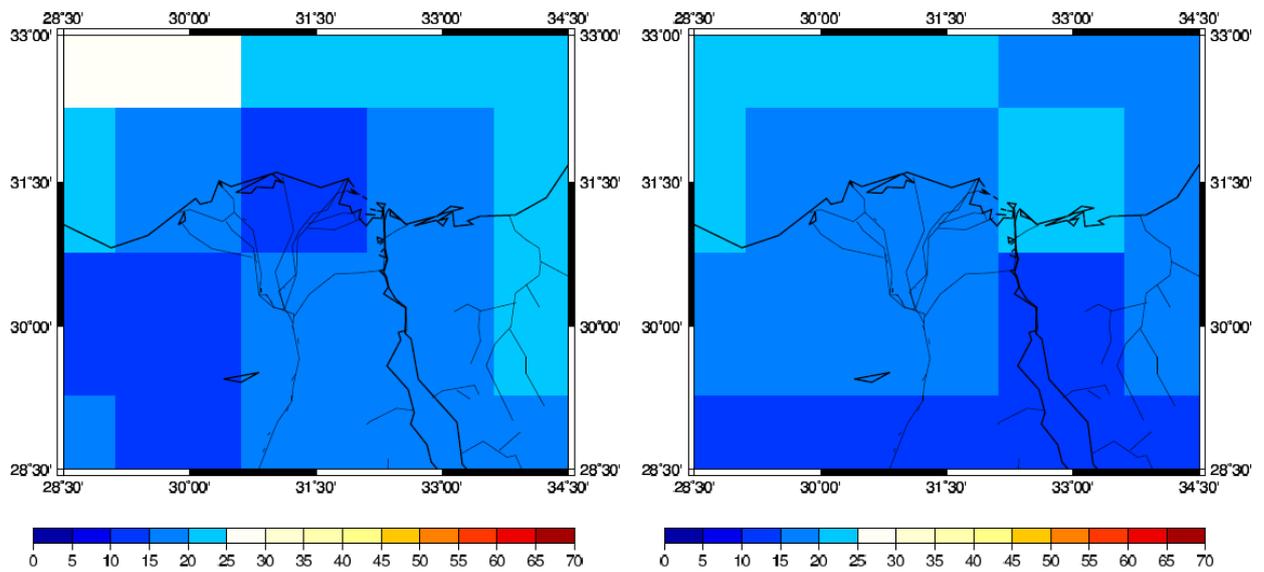
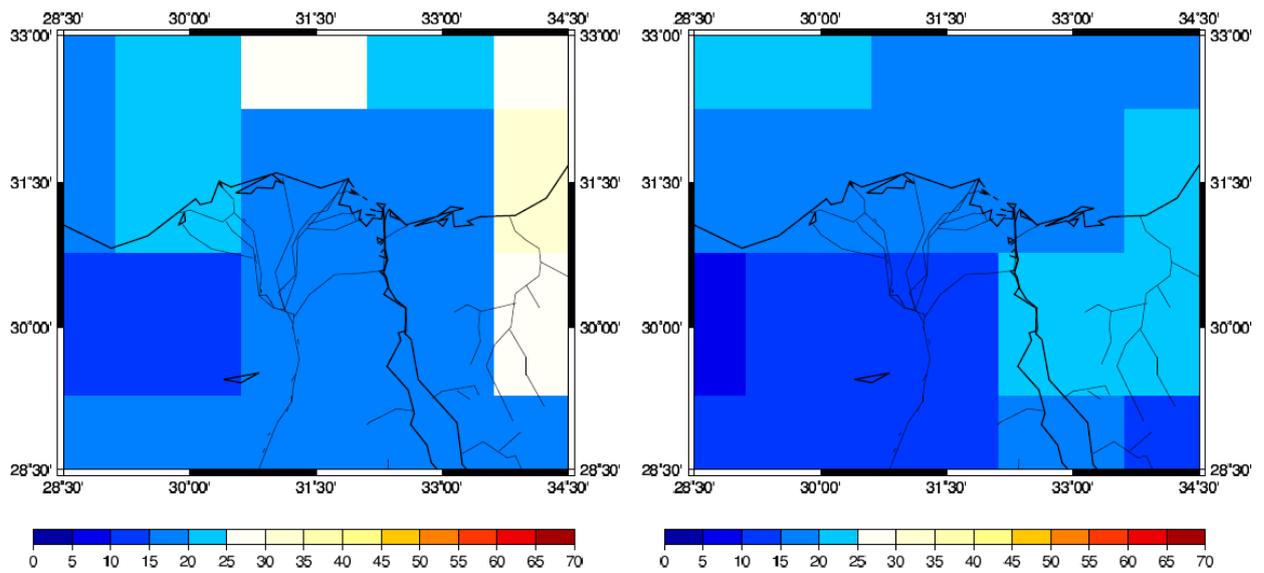


図 95 全雲量分布の分布 (2009 年 10 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

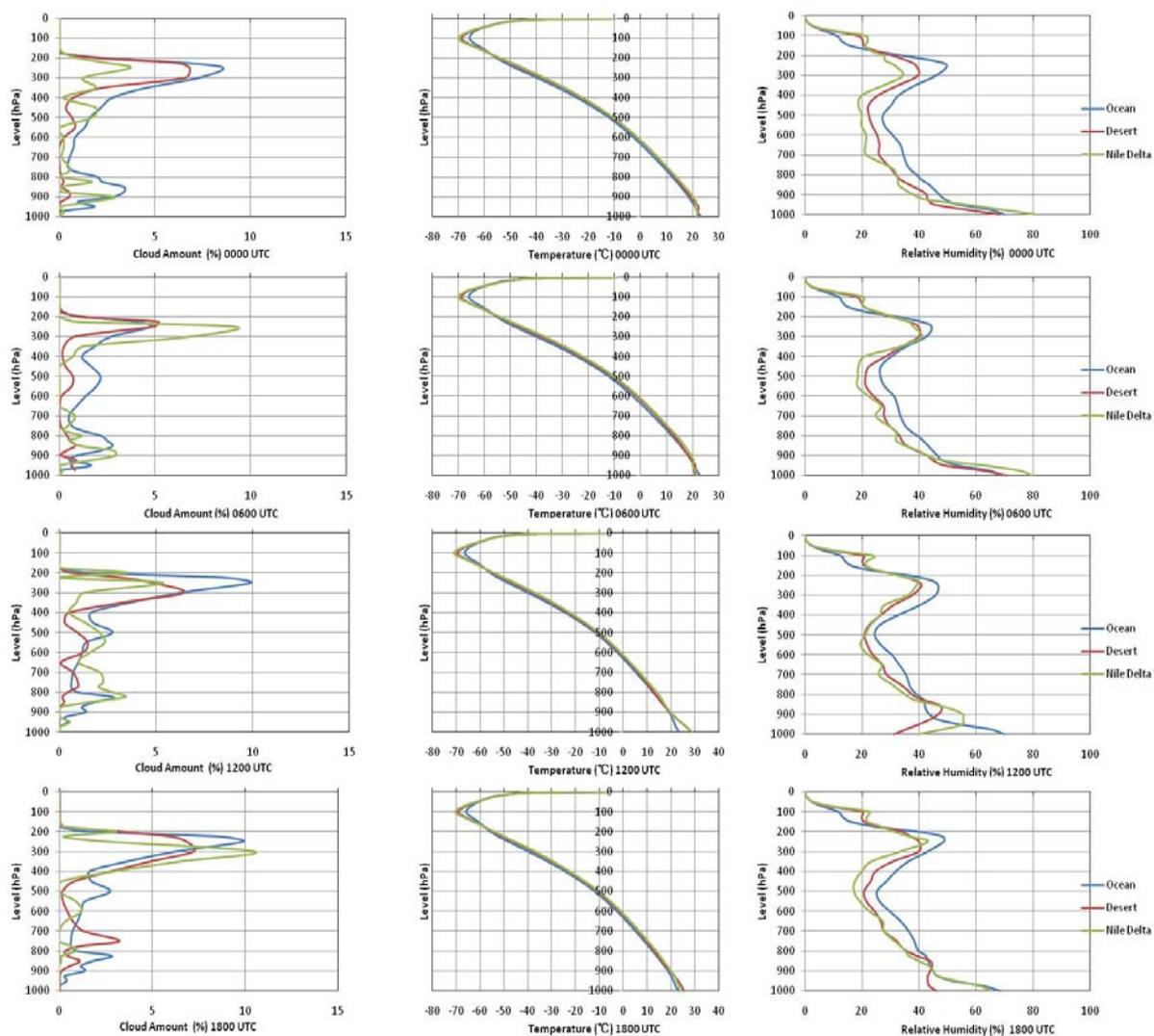


図 96 時間別気象要因高度分布 (2009 年 10 月平均)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 9 持ち上げ凝結高度 (2009 年 10 月平均, hPa)

Oct	ocean	desert	Nile Delta
0000 UTC	932	937	979
0600 UTC	916	928	969
1200 UTC	914	783	893
1800 UTC	934	874	950

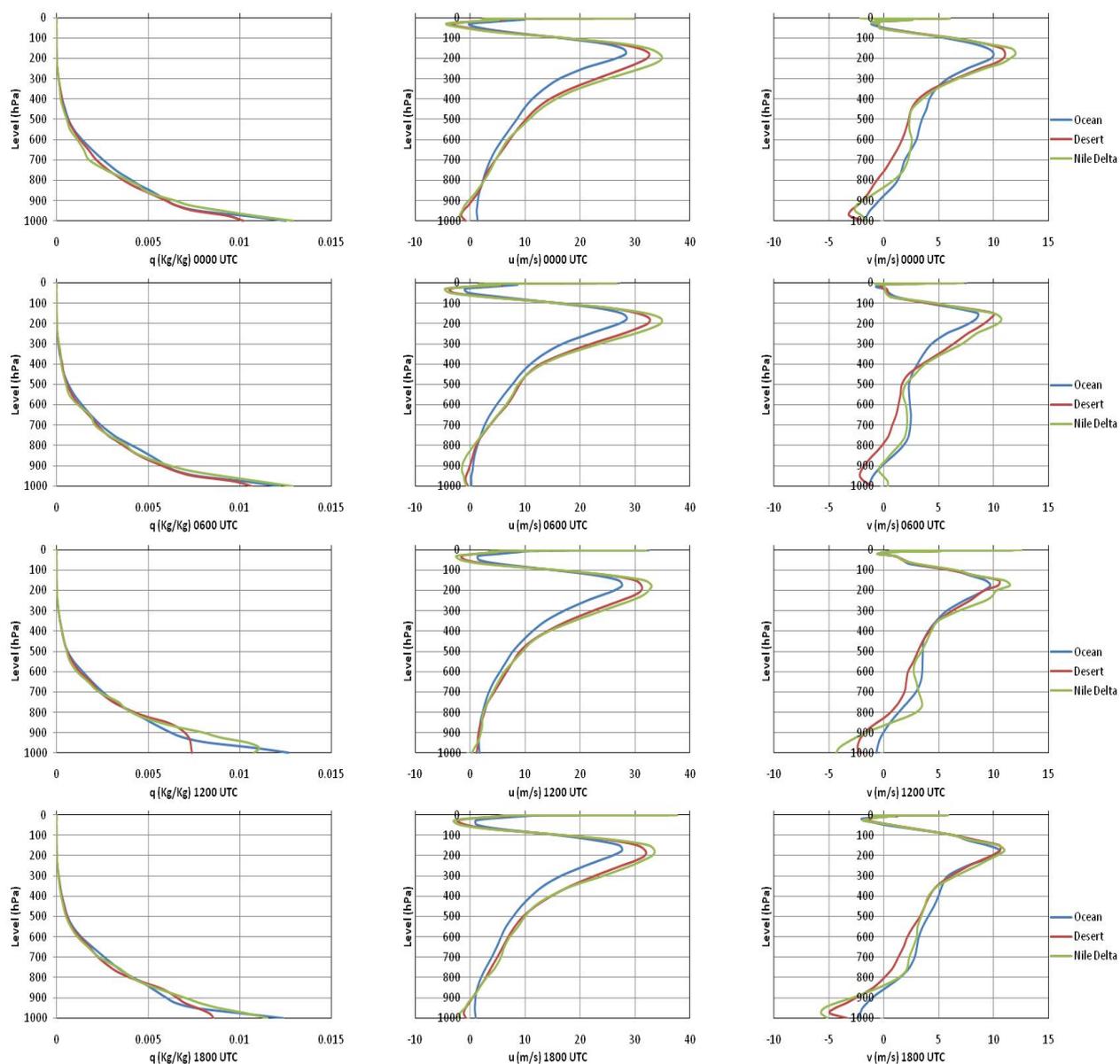


図 97 時間別気象要因高度分布 2 (2009 年 10 月平均)

左左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

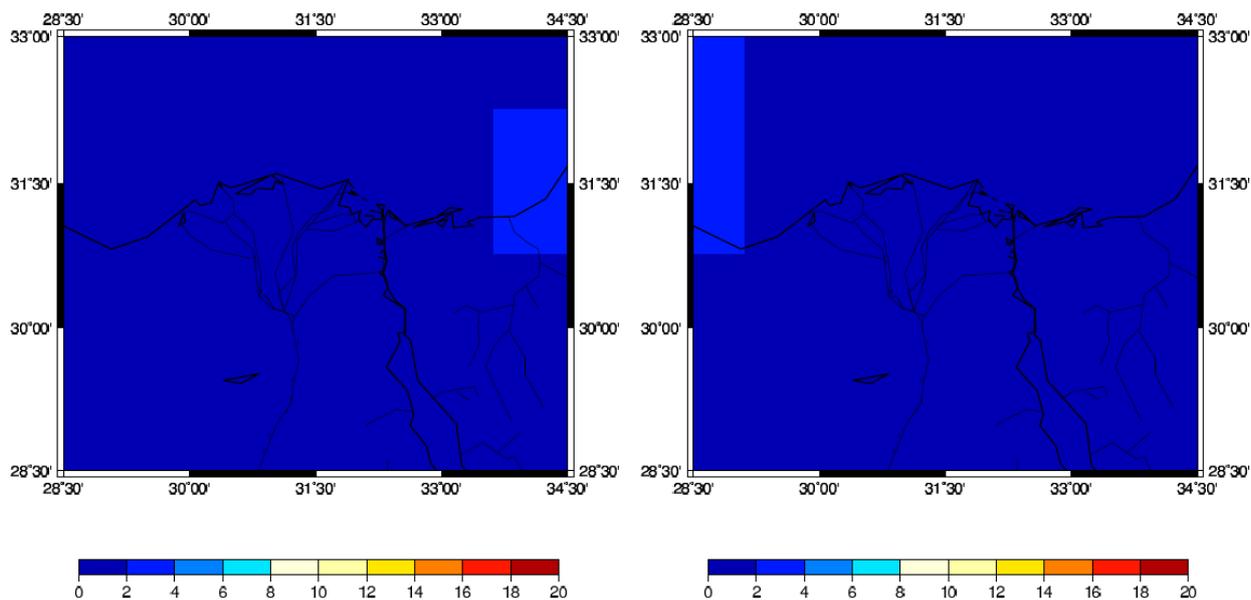
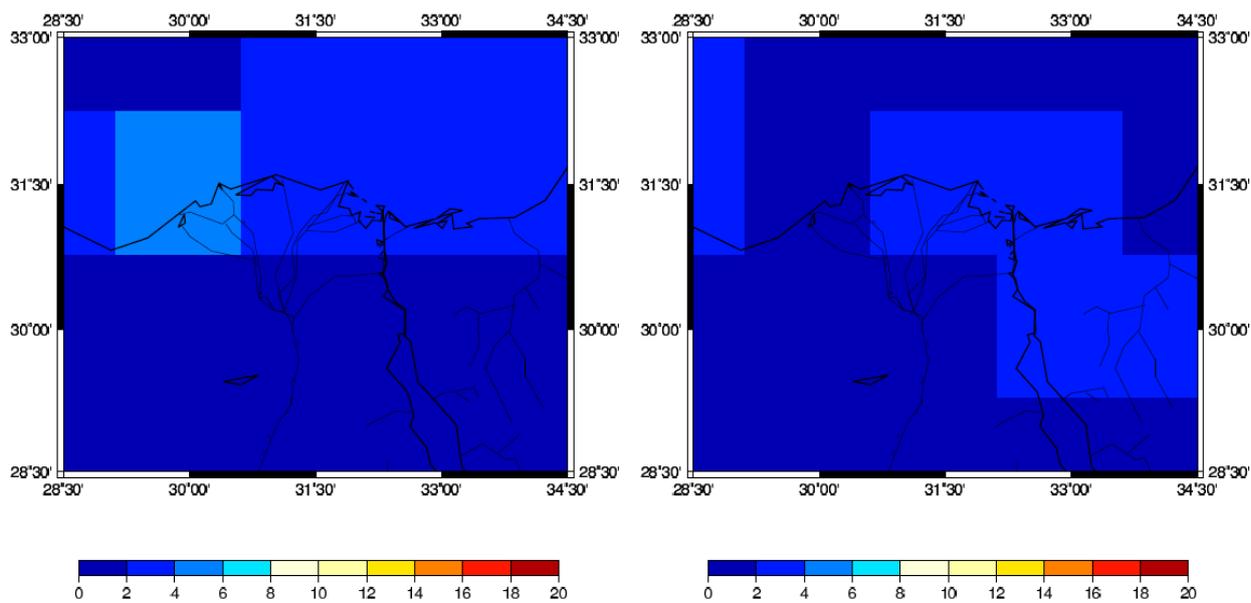


図 98 低層雲の雲分布図 (10 月平均 900 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

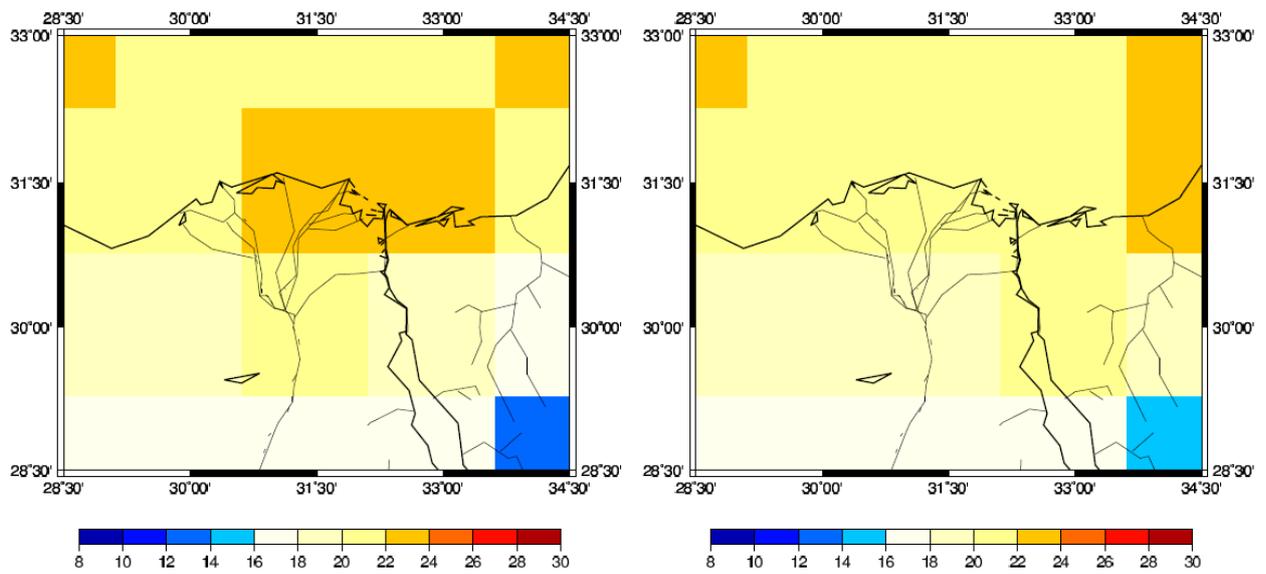
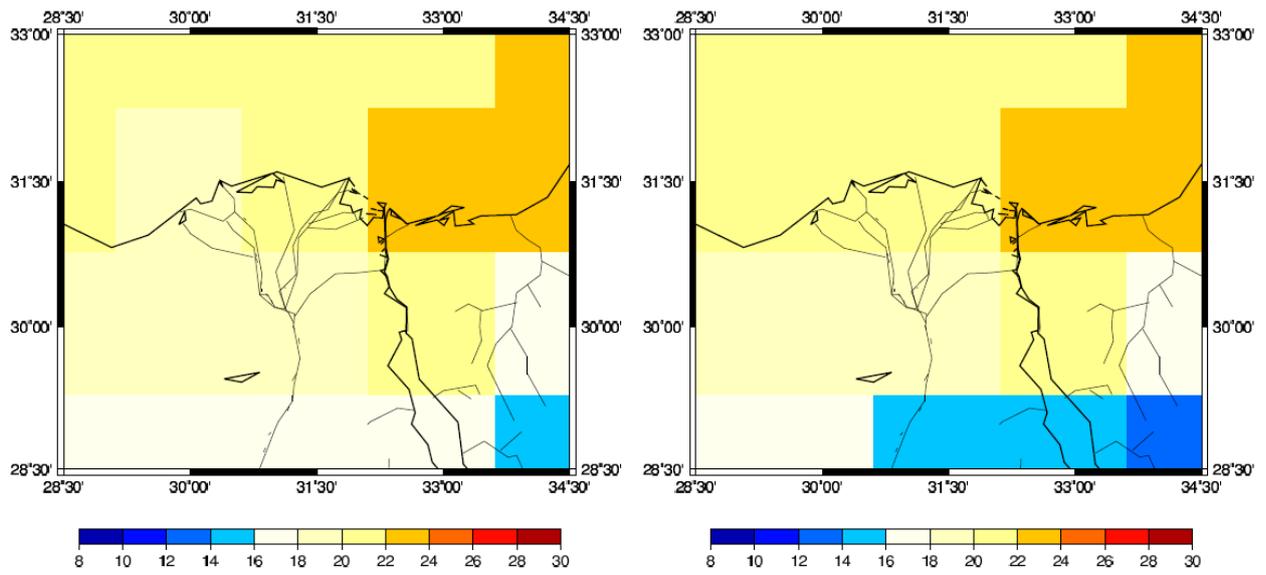


図 99 可降水量の分布図 (2009 年 10 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

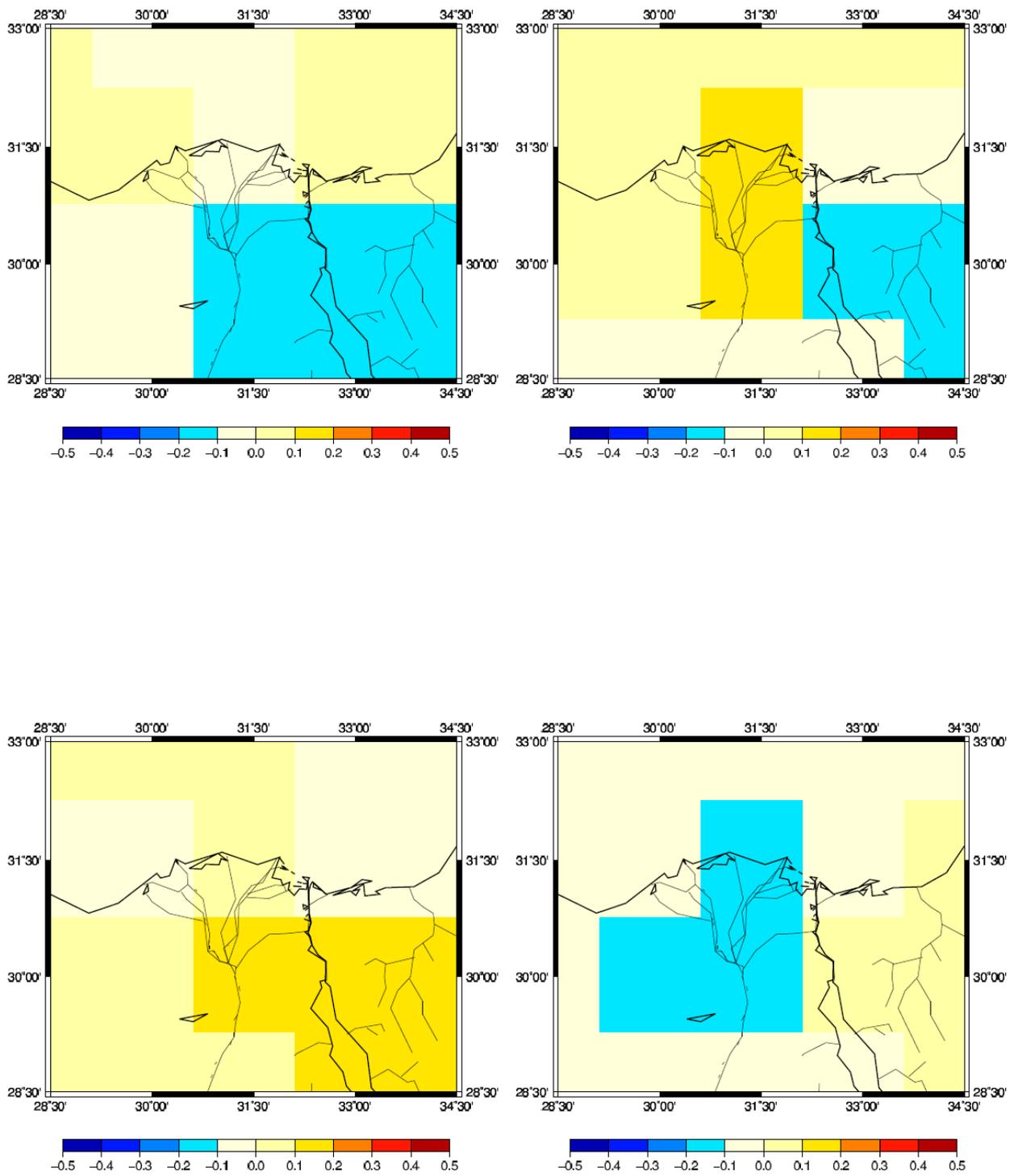


図 100 可降水量の時間変化分布図 (2009 年 10 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

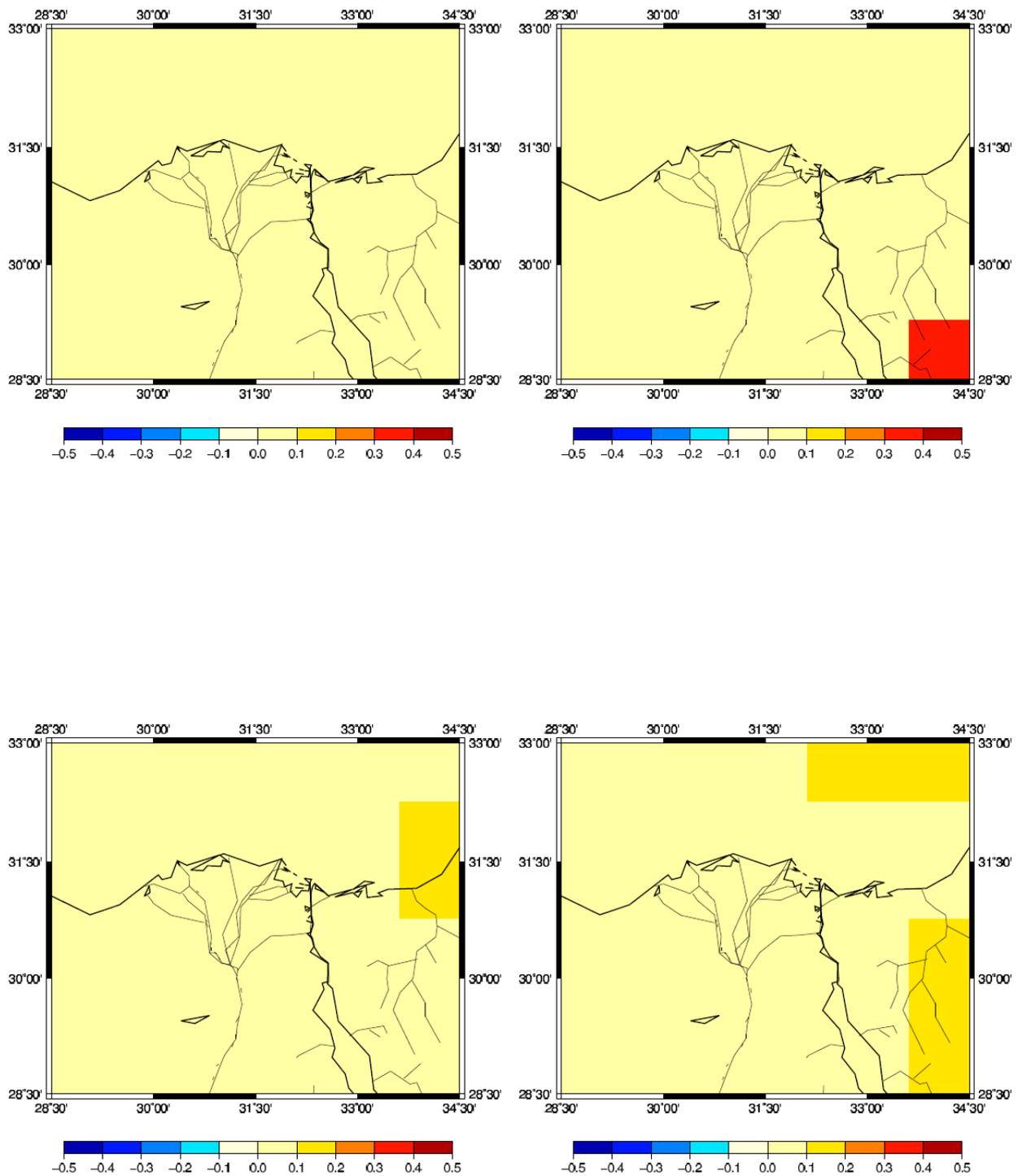


図 101 降水量の分布 (2009 年 10 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

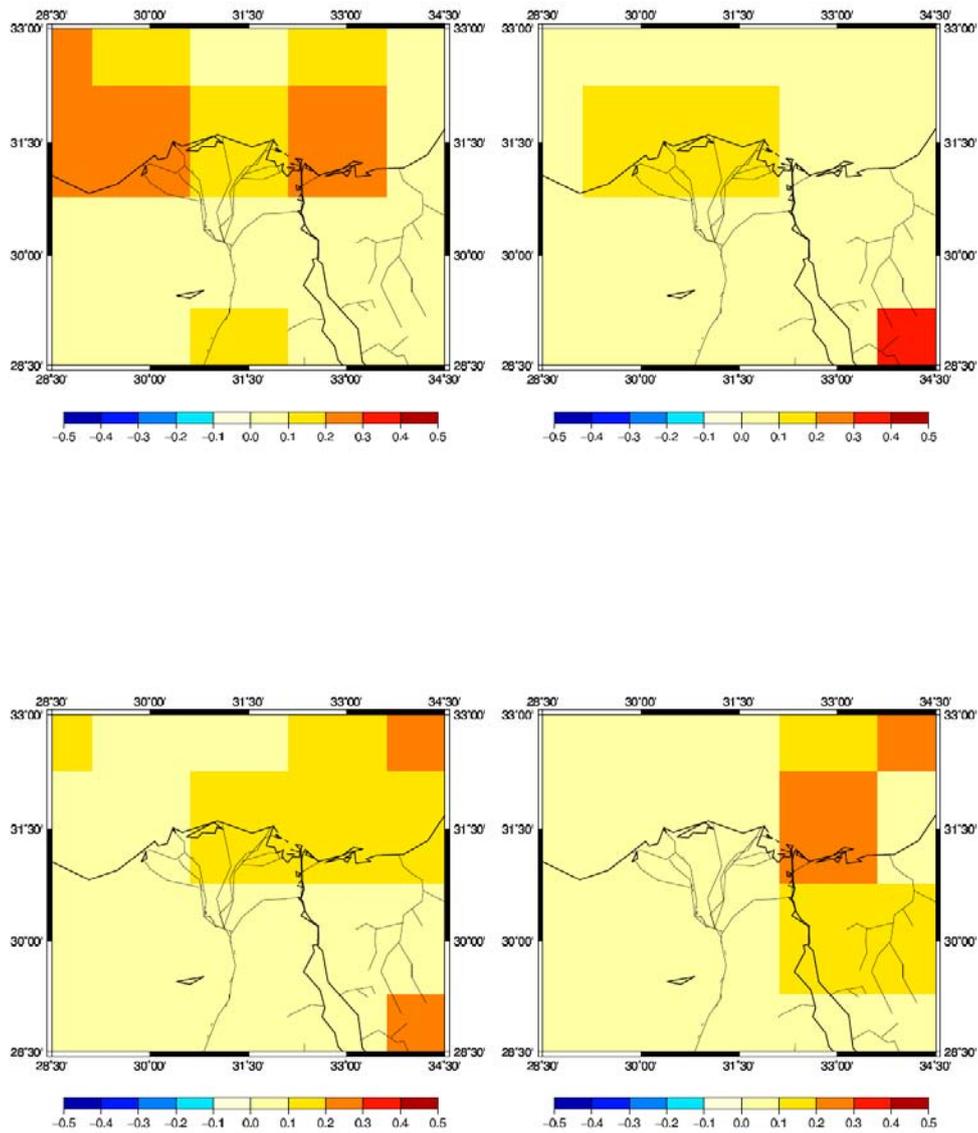


図 102 蒸発散量の分布 (2009 年 10 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

表 10 蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 10 月平均)

October	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.24	0.15	0.15
0600 UTC	0.29	0.46	-0.01
1200 UTC	0.21	0.19	0.30
1800 UTC	-0.29	-0.08	0.06

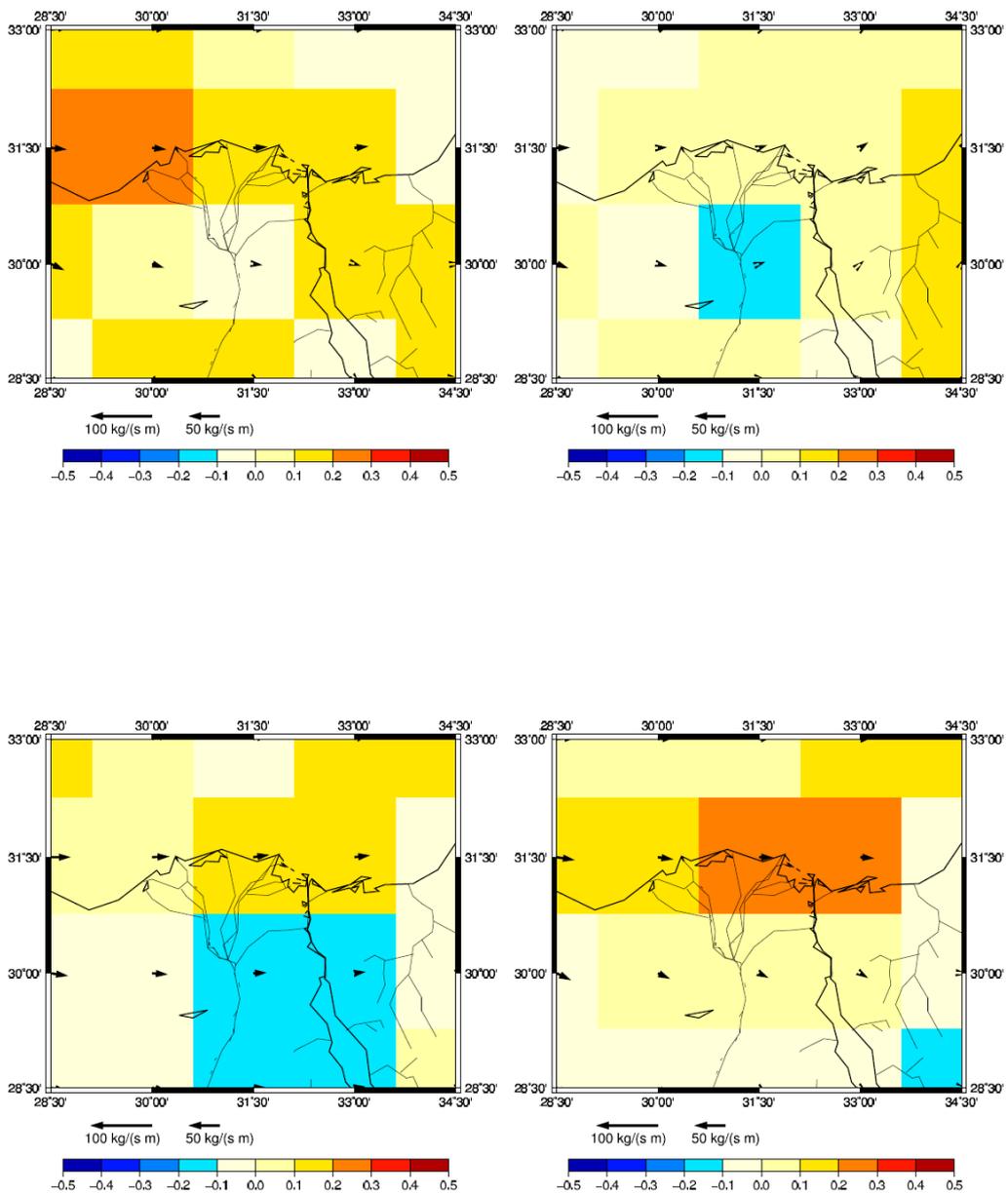


図 103 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2009年10月平均)

左上：0000 UTC 右上：0600 UTC 左下：1200 UTC 右下：1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す。

表 11 水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009年10月平均)

October	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.79	-0.80	-0.68
0600 UTC	-0.58	-0.81	-0.61
1200 UTC	-0.73	-0.83	-0.47
1800 UTC	-0.77	-0.83	-0.75

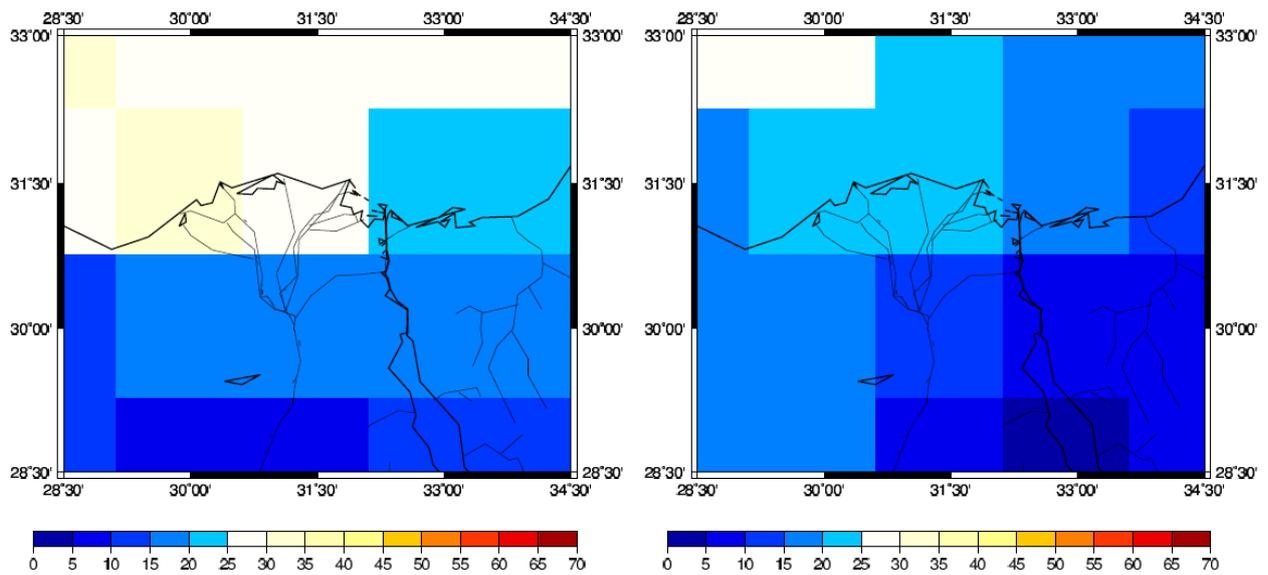
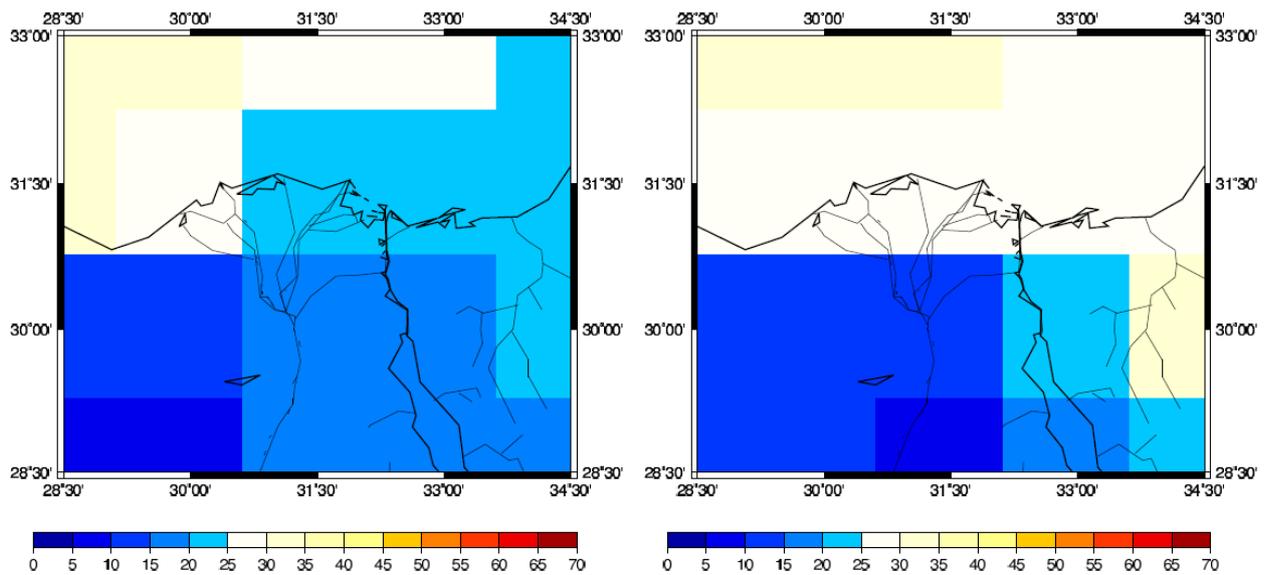


図 104 全雲量分布の分布 (2009 年 11 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

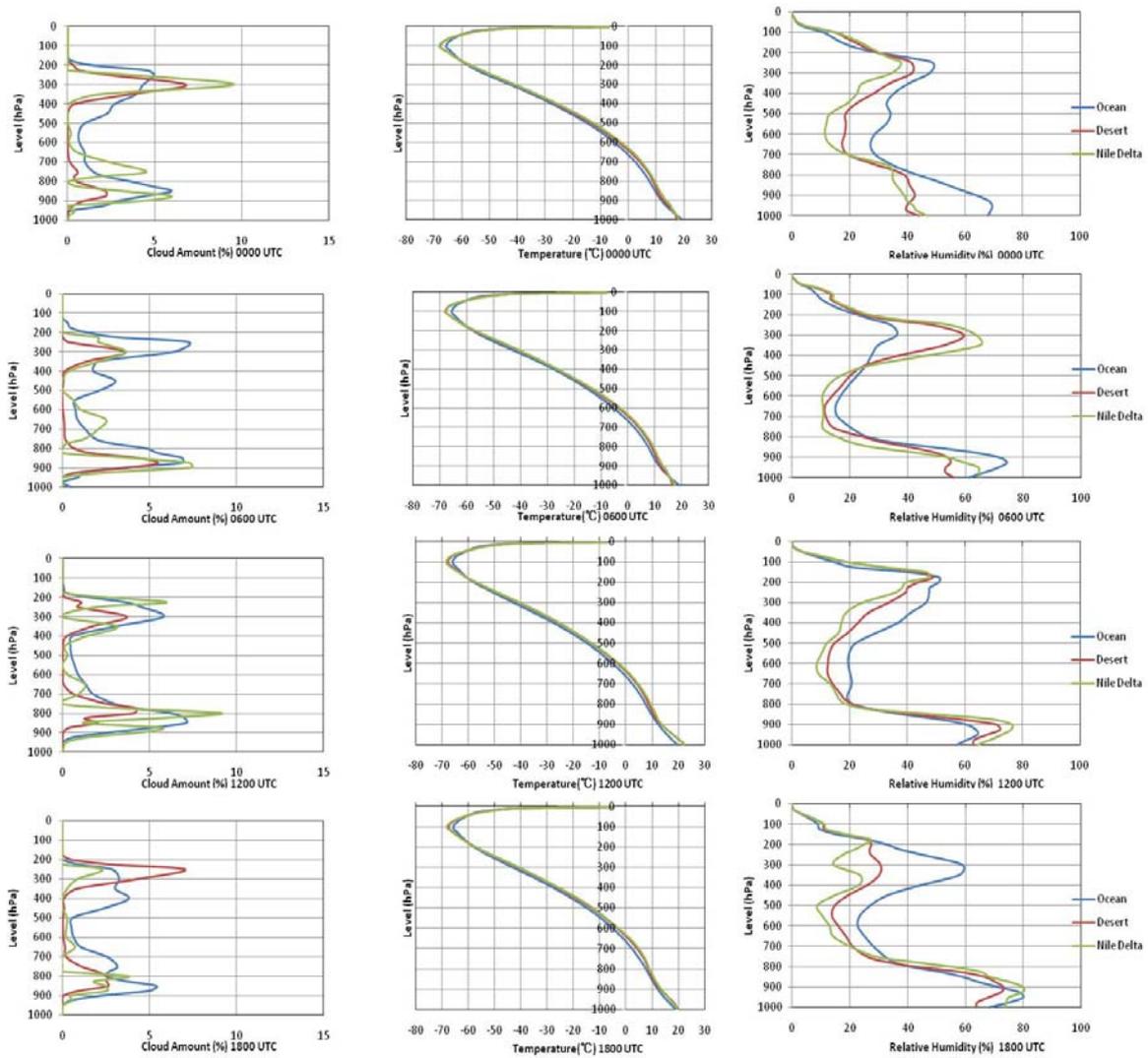


図 105 時間別気象要因高度分布 (2009 年 11 月平均)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 12 持ち上げ凝結高度 (2009 年 11 月平均, hPa)

Nov	ocean	desert	Nile Delta
0000 UTC	926	946	956
0600 UTC	918	931	962
1200 UTC	899	814	889
1800 UTC	926	897	937

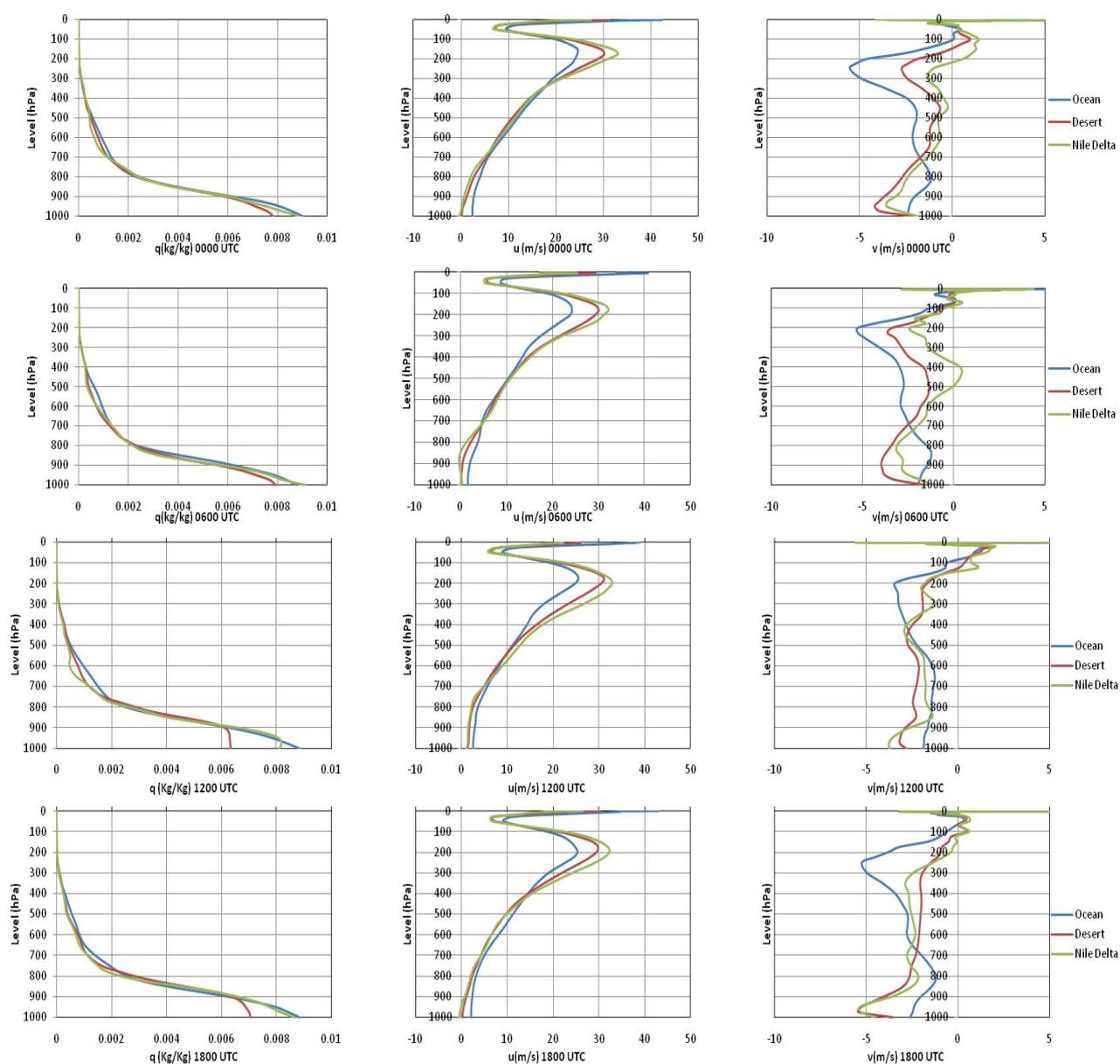


図 106 時間別気象要因高度分布 2 (2009 年 11 月平均)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

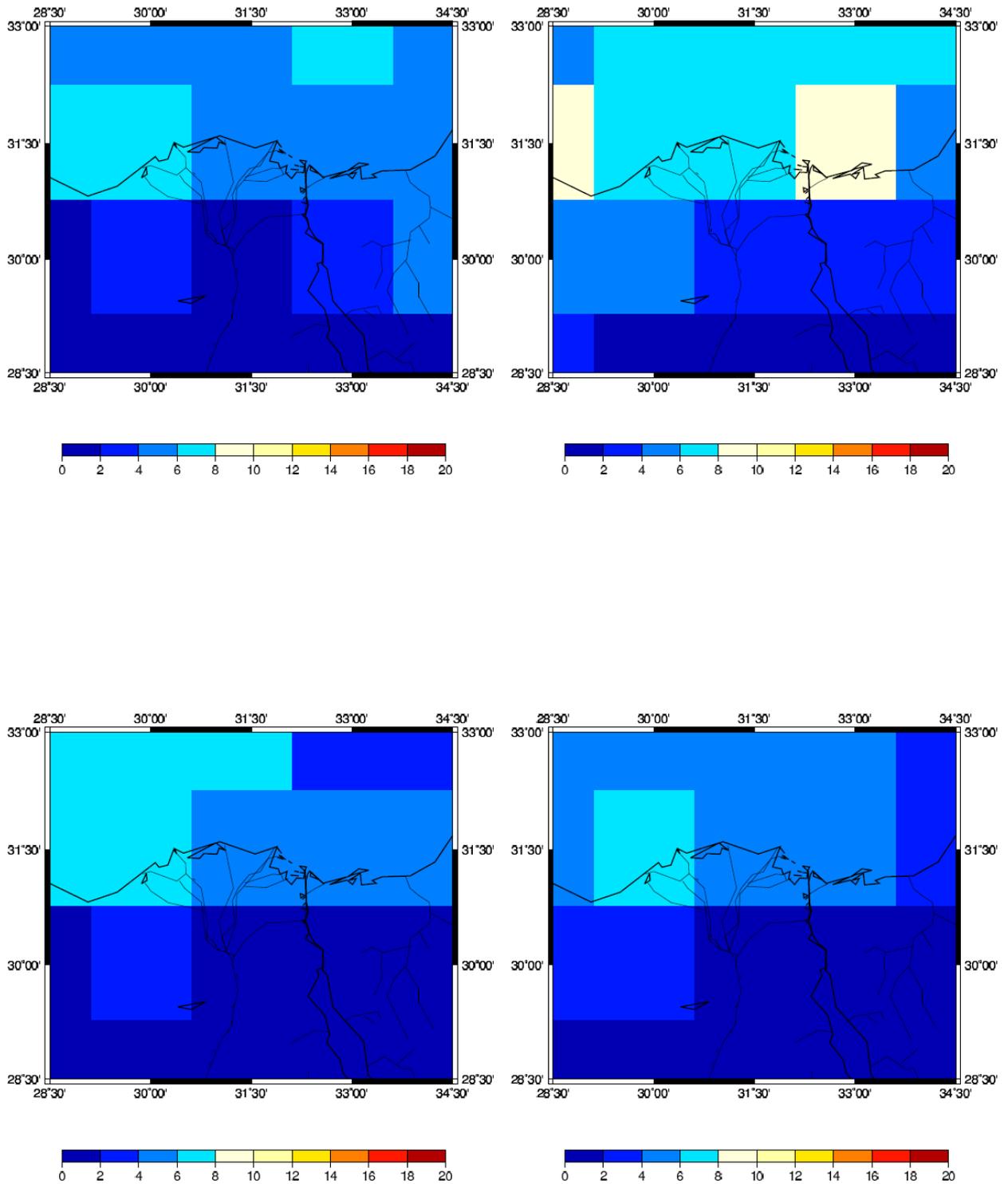


図 107 低層雲分布 (2009 年 11 月平均, 850 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は mm/hour

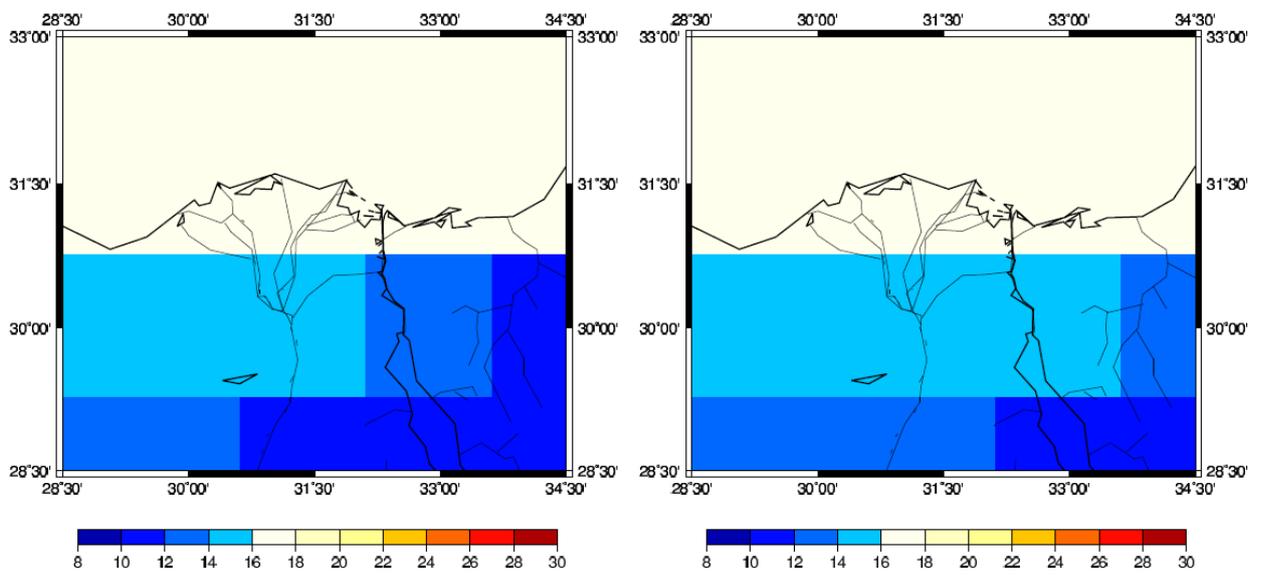
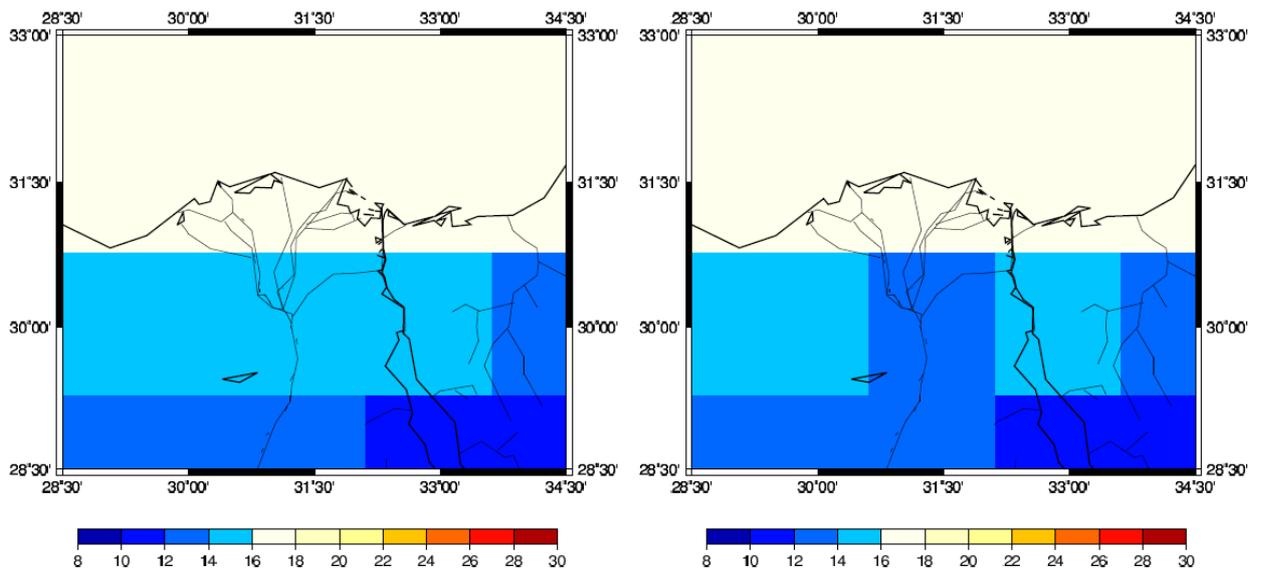


図 108 可降水量の分布図 (2009 年 11 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

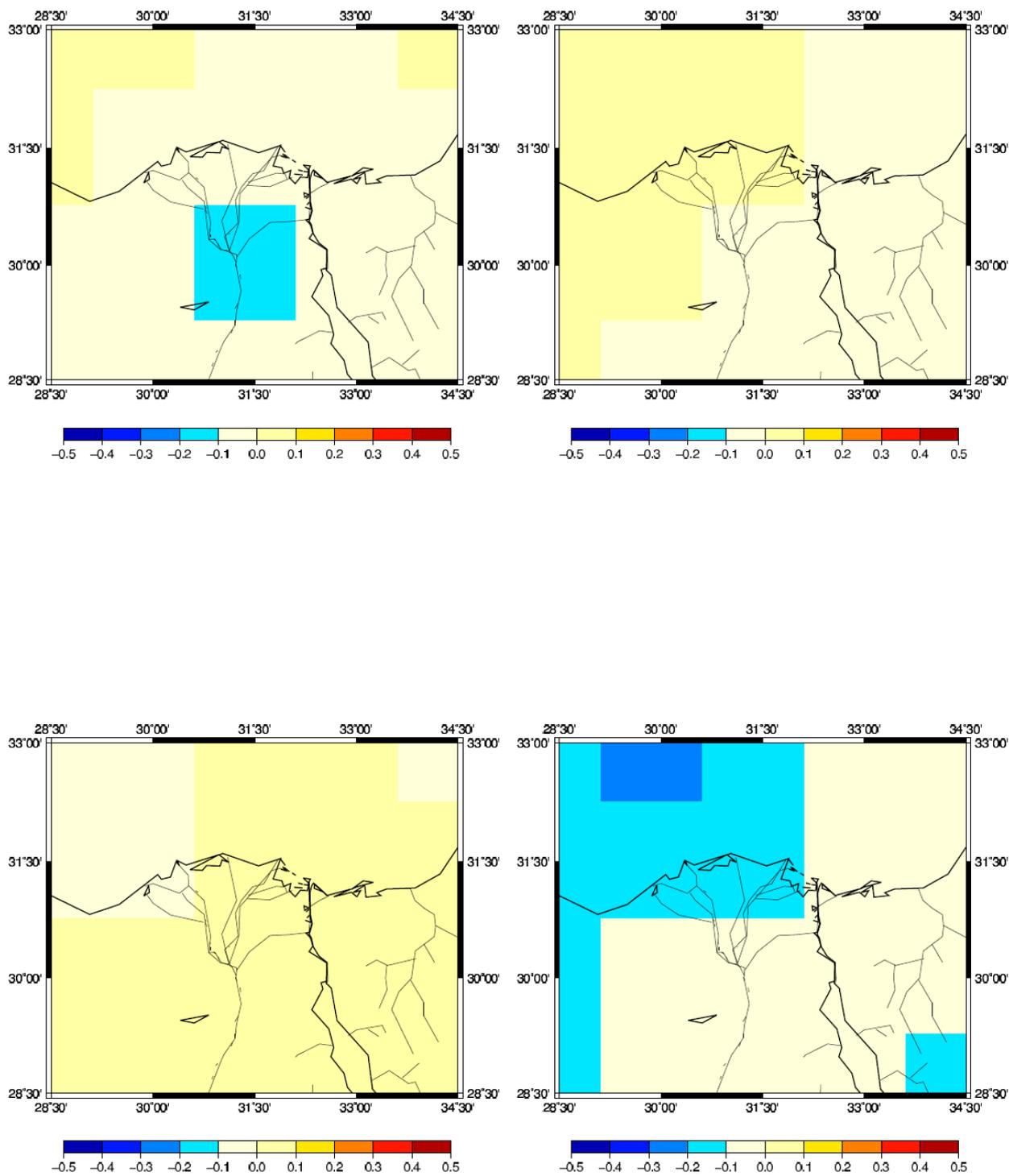


図 109 可降水量の時間変化分布図 (2009 年 11 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

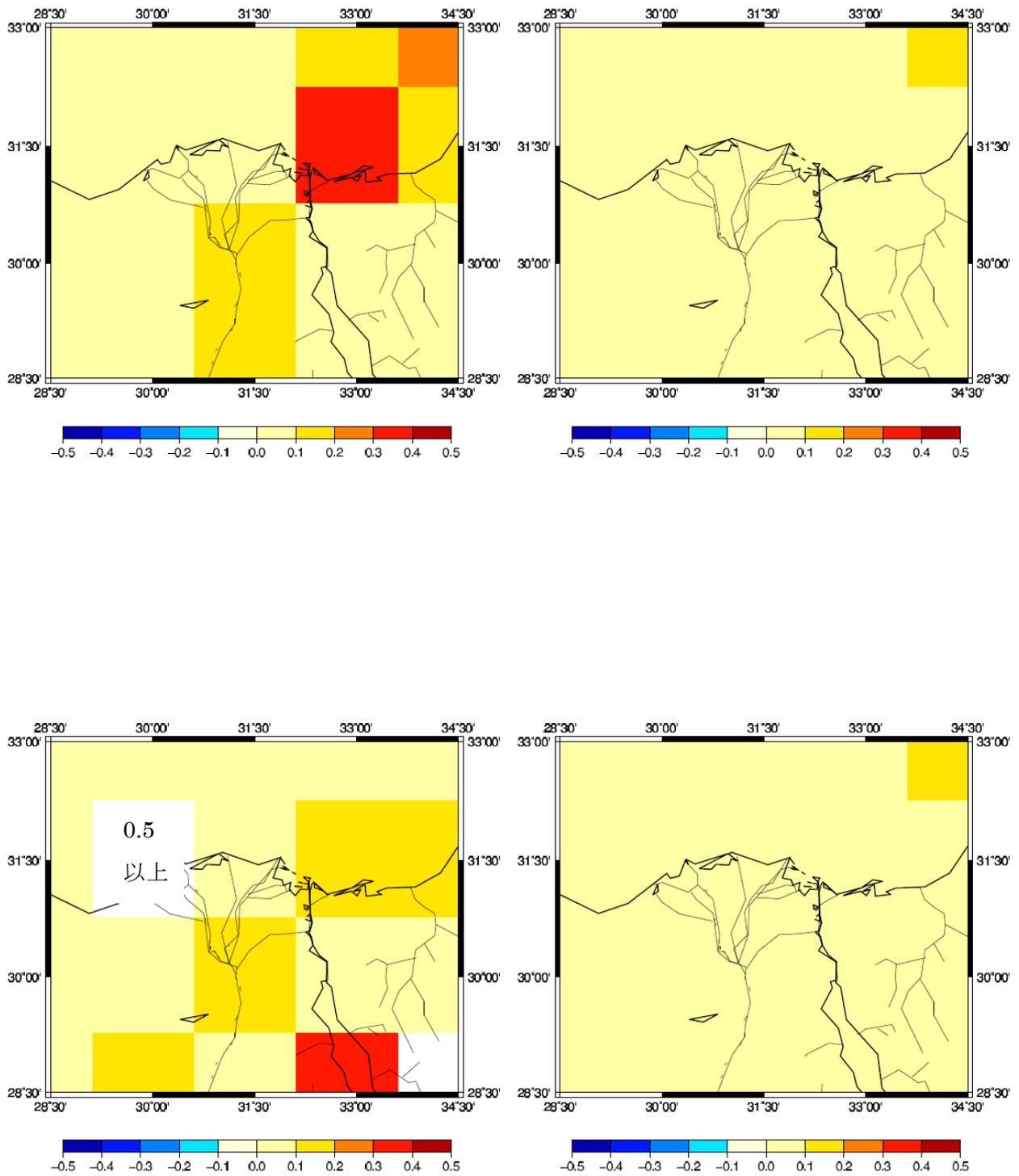


図 110 降水量の分布 (2009 年 11 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

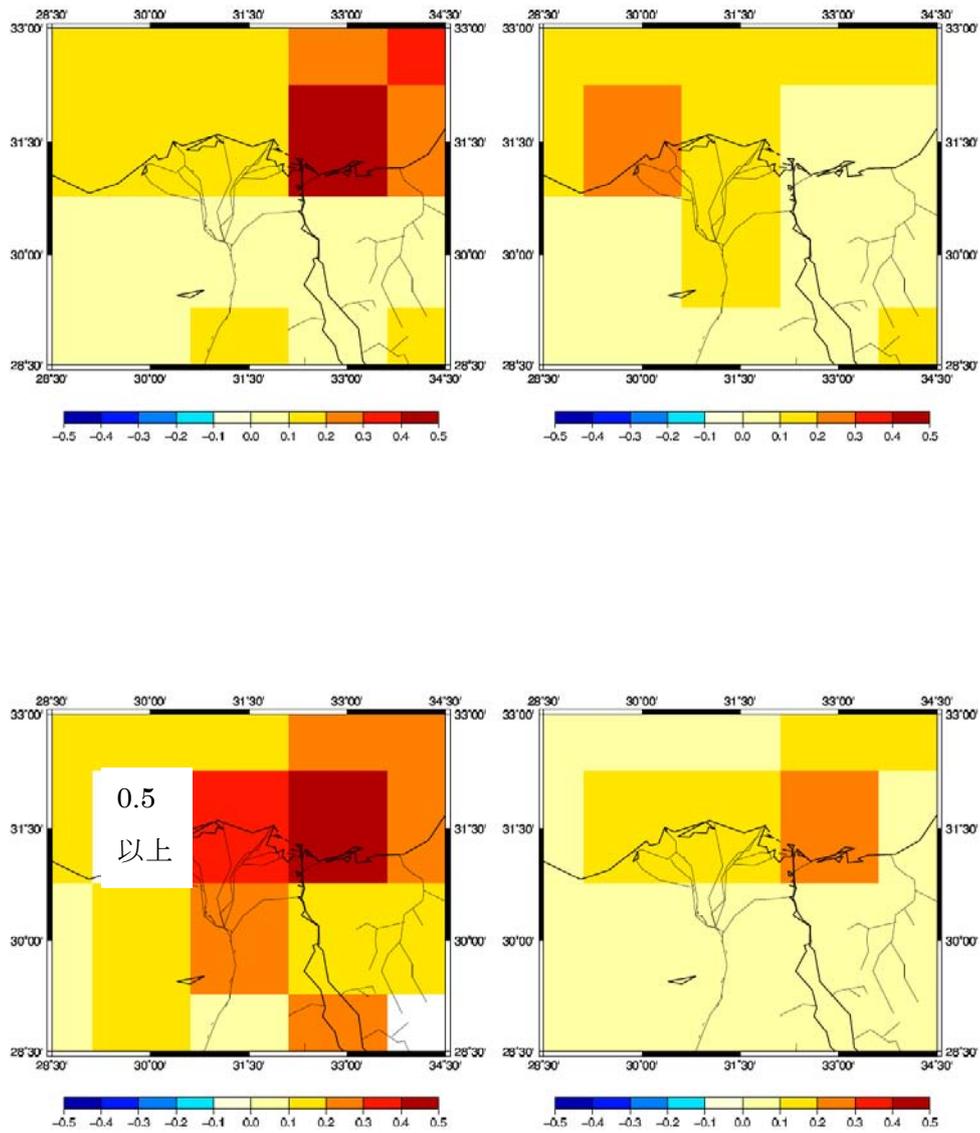


図 111 蒸発散量の分布 (2009 年 11 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

表 13 水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 11 月平均)

November	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	0.038	0.25	0.03
0600 UTC	0.27	0.34	0.17
1200 UTC	0.35	-0.12	-0.06
1800 UTC	-0.05	-0.23	0.16

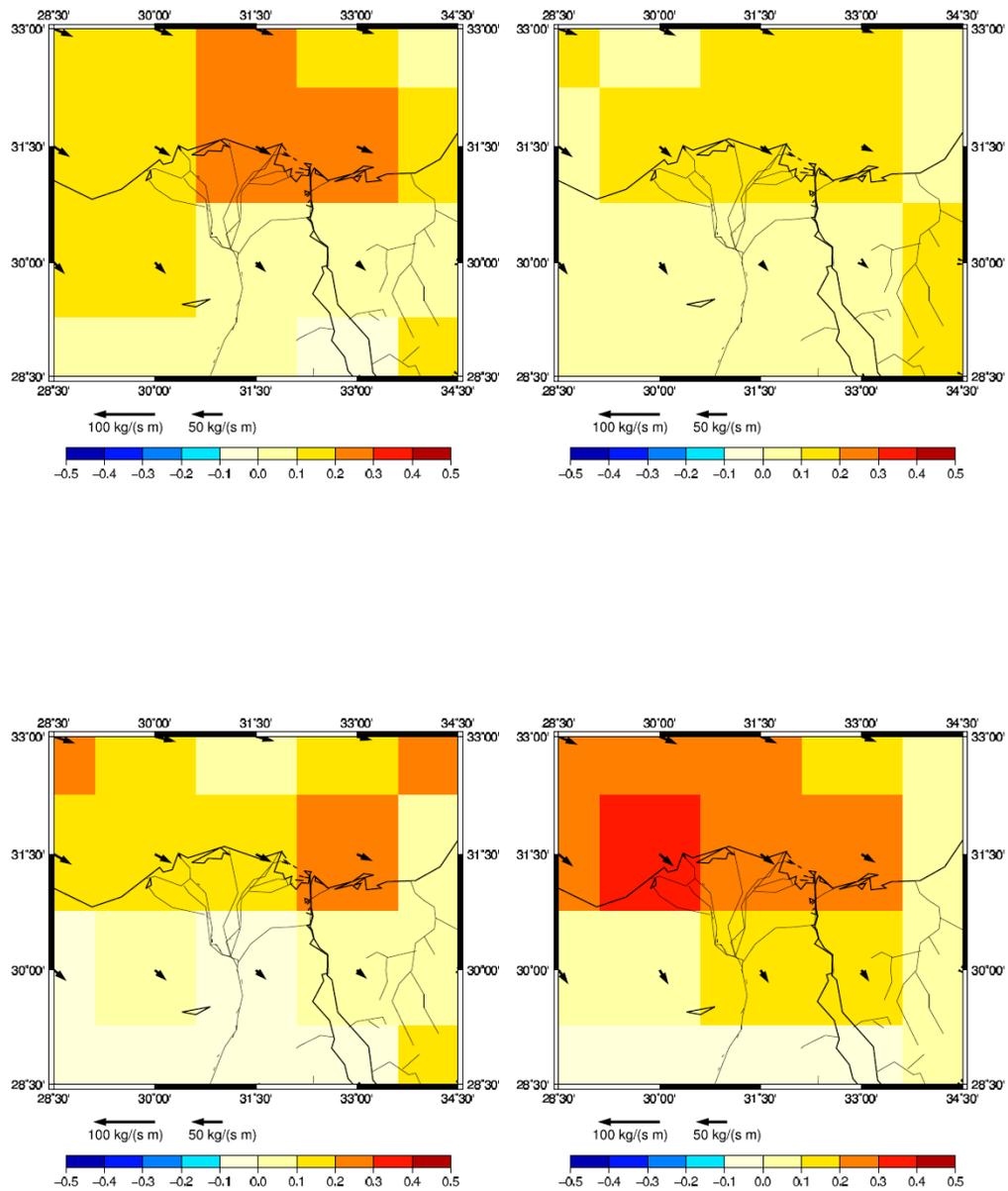


図 112 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2009年11月平均)

左上：0000 UTC 右上：0600 UTC 左下：1200 UTC 右下：1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す。

表 14 水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009年11月平均)

November	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.59	-0.62	-0.62
0600 UTC	-0.88	-0.73	-0.76
1200 UTC	-0.56	-0.77	-0.69
1800 UTC	-0.72	-0.93	-0.80

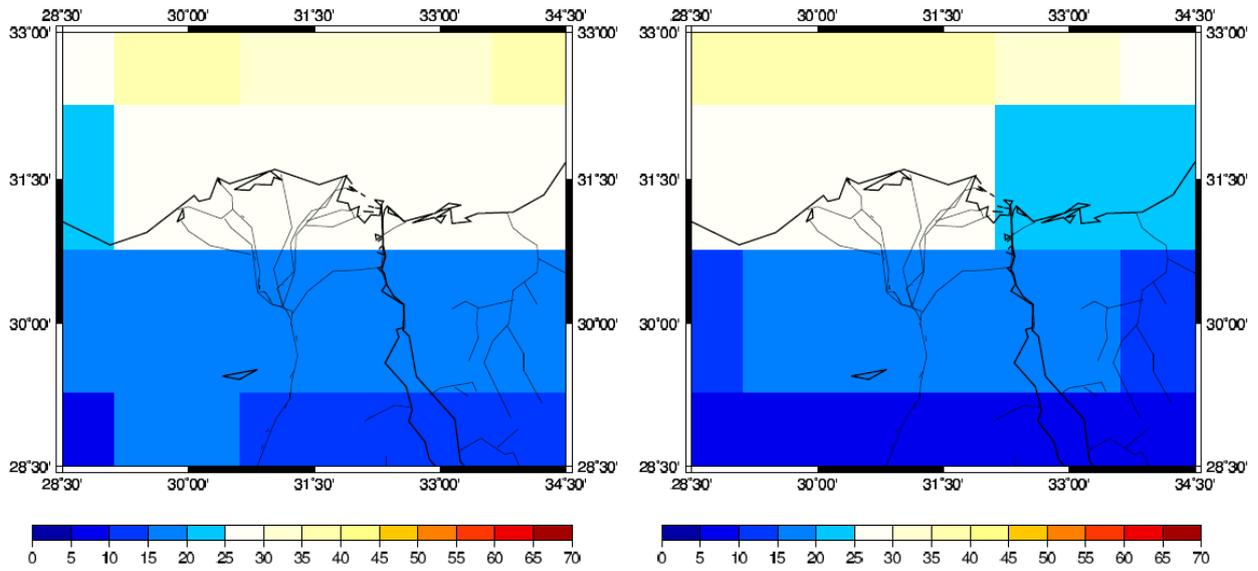
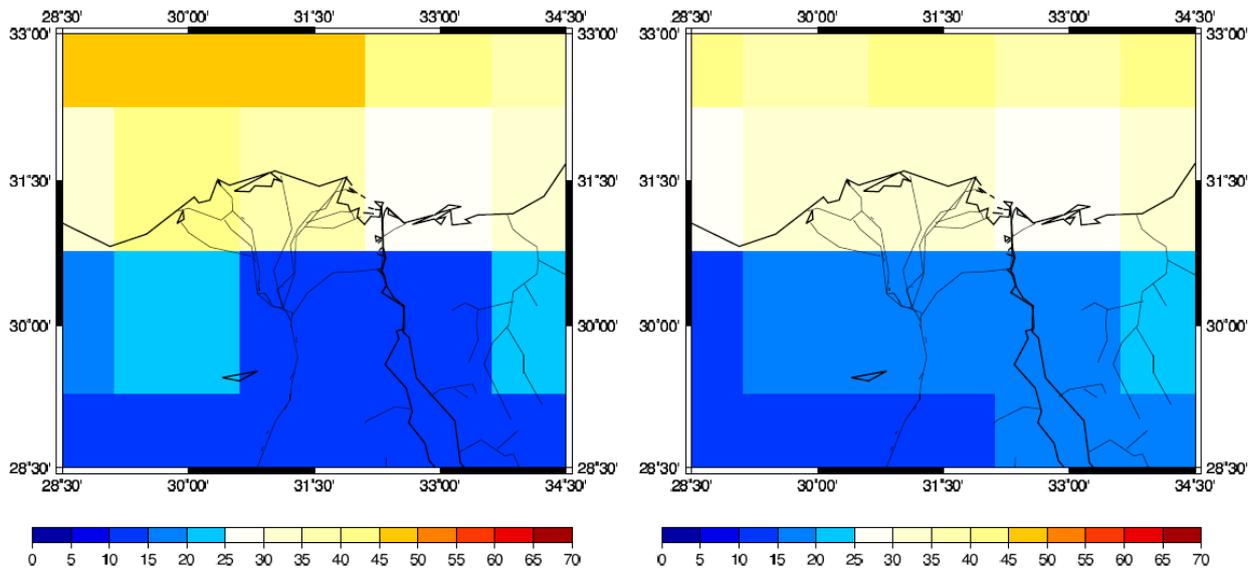


図 113 全雲量分布の分布 (2009 年 12 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

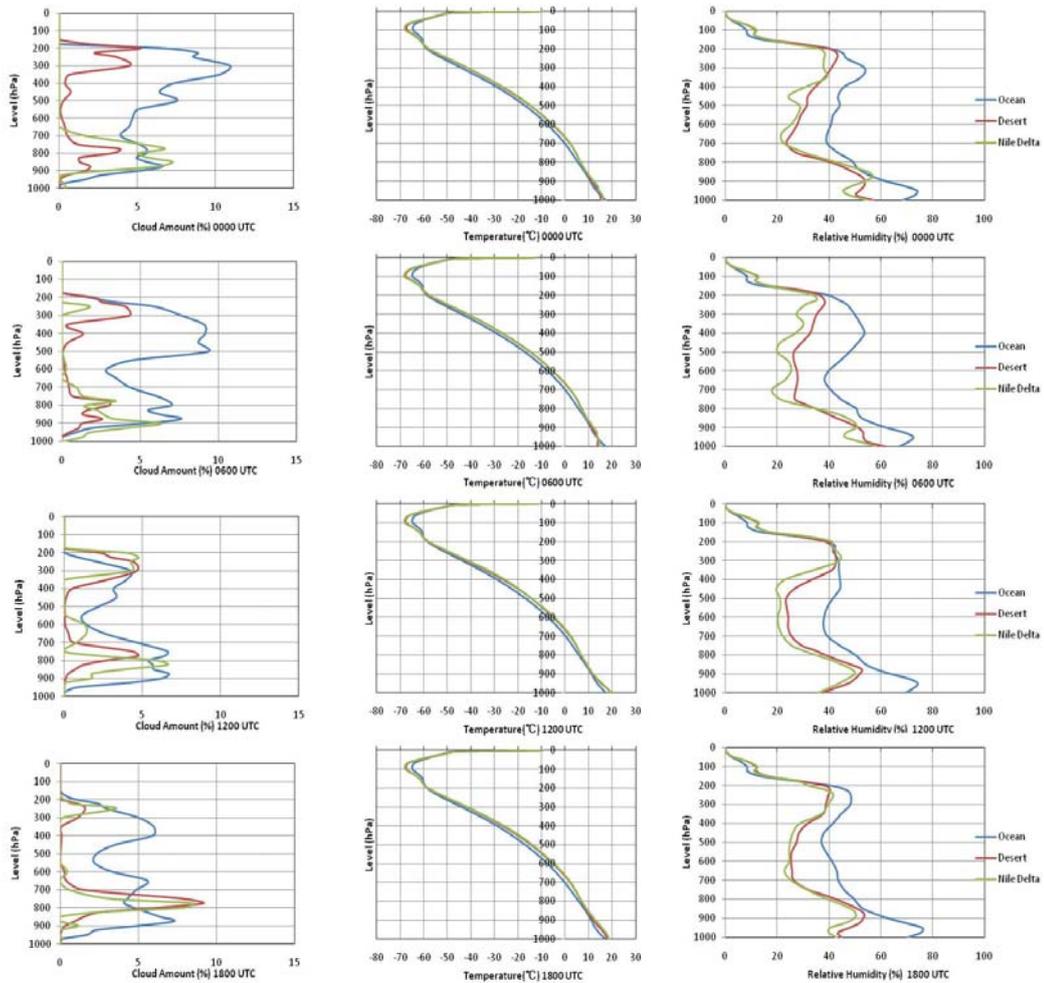


図 114 時間別気象要因高度分布 (2009 年 12 月平均)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 15 持ち上げ凝結高度 (2009 年 12 月平均, hPa)

Dec	ocean	desert	Nile Delta
0000 UTC	938	915	962
0600 UTC	937	910	958
1200 UTC	923	805	880
1800 UTC	943	879	932

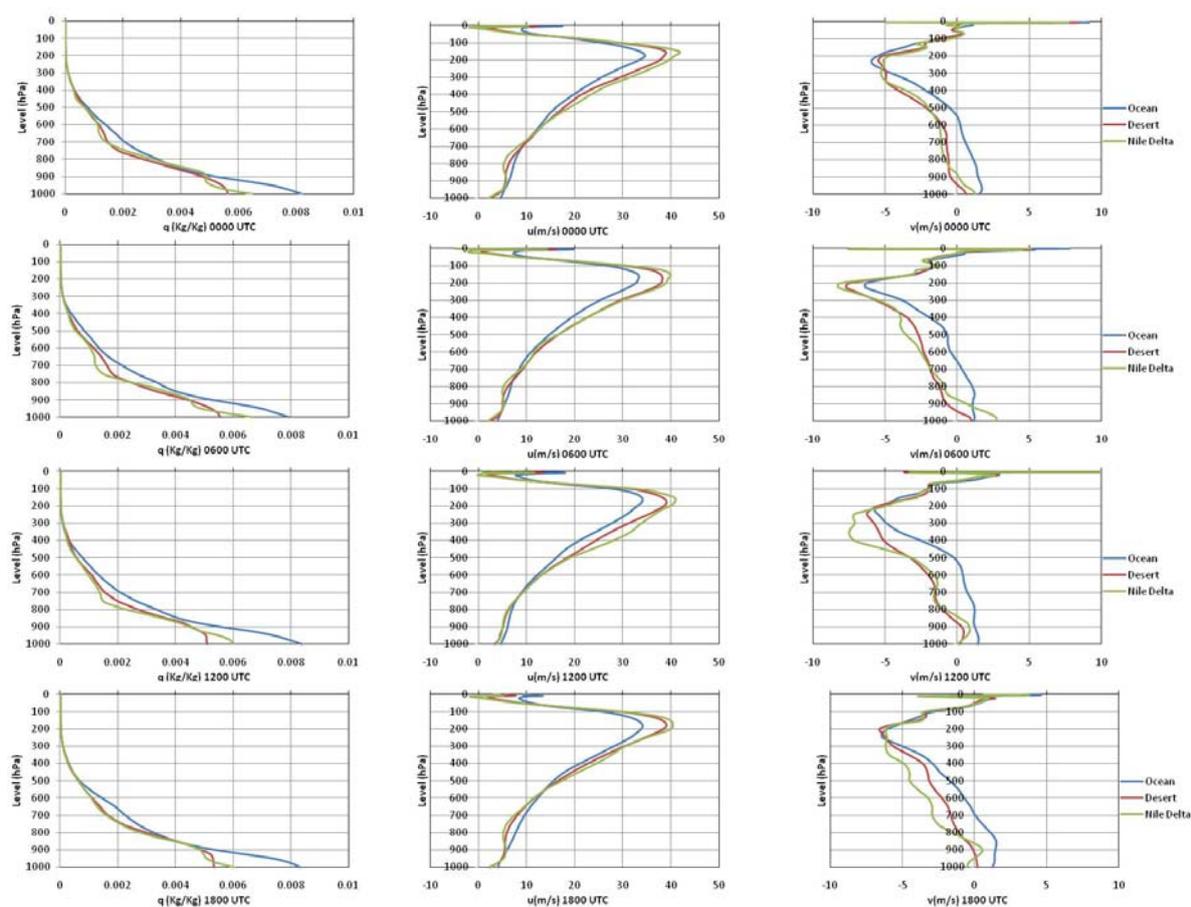


図 115 時間別気象要因高度分布 2 (2009 年 12 月平均)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

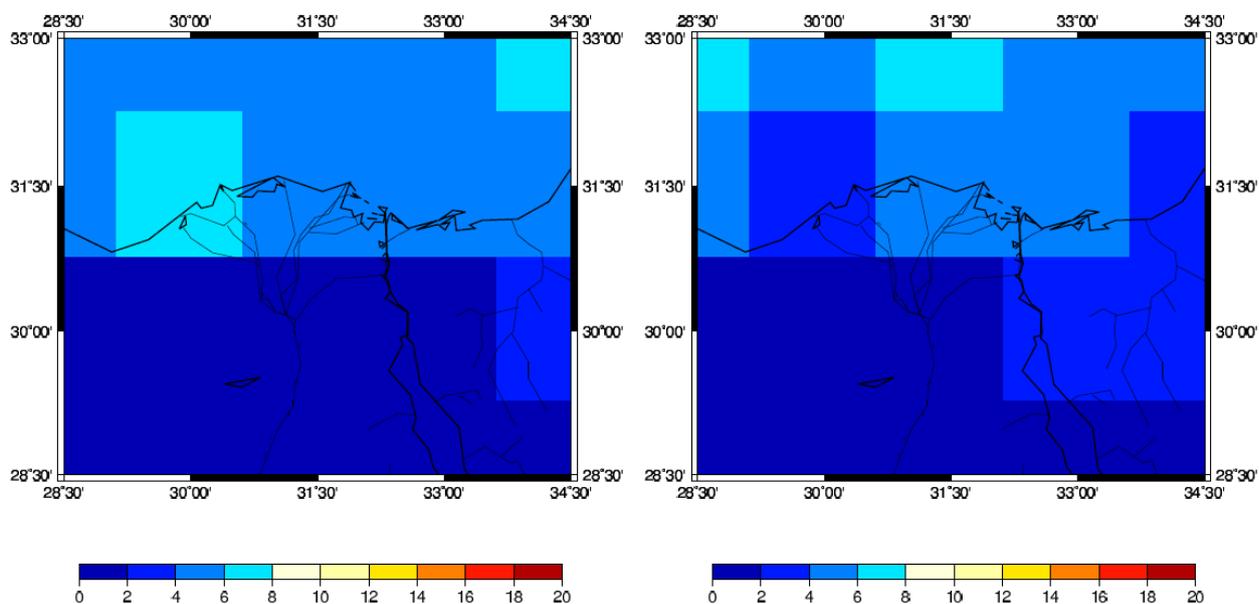
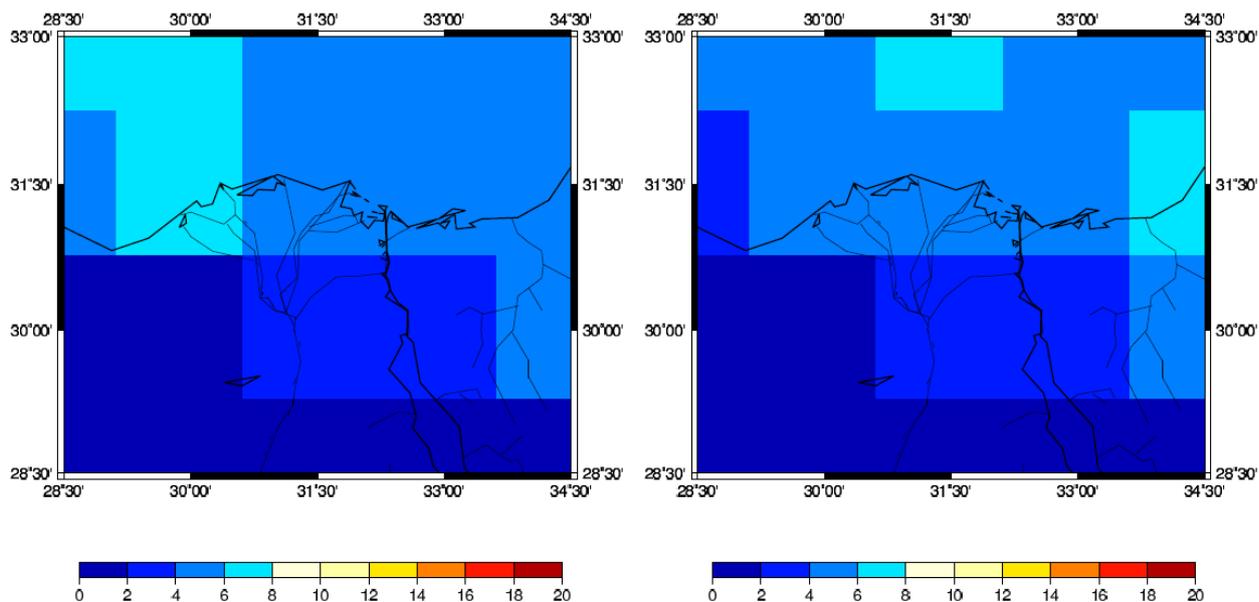


図 116 低層雲分布図 (2009年12月平均, 850 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は mm/hour

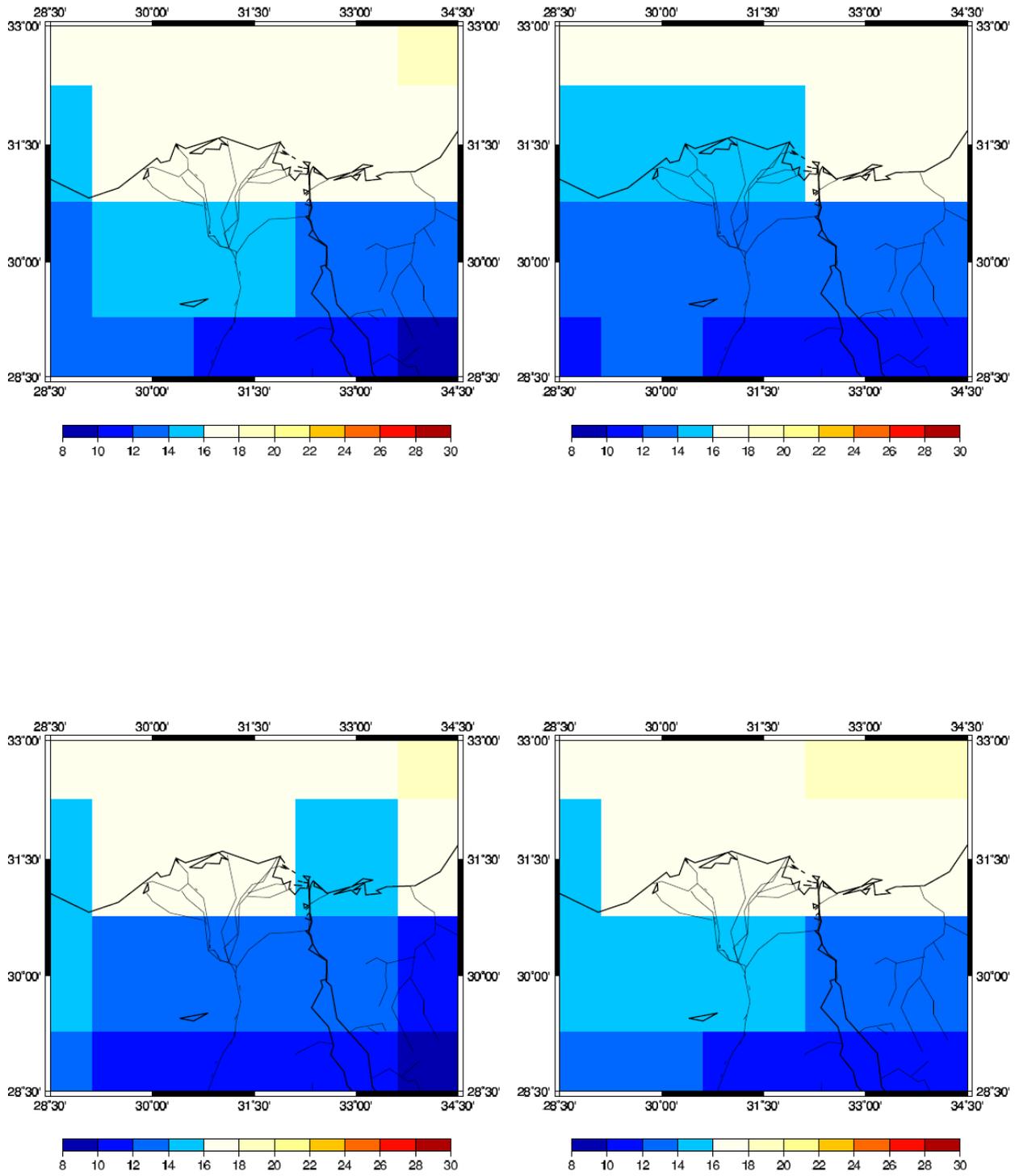


図 117 可降水量の分布図 (2009 年 12 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

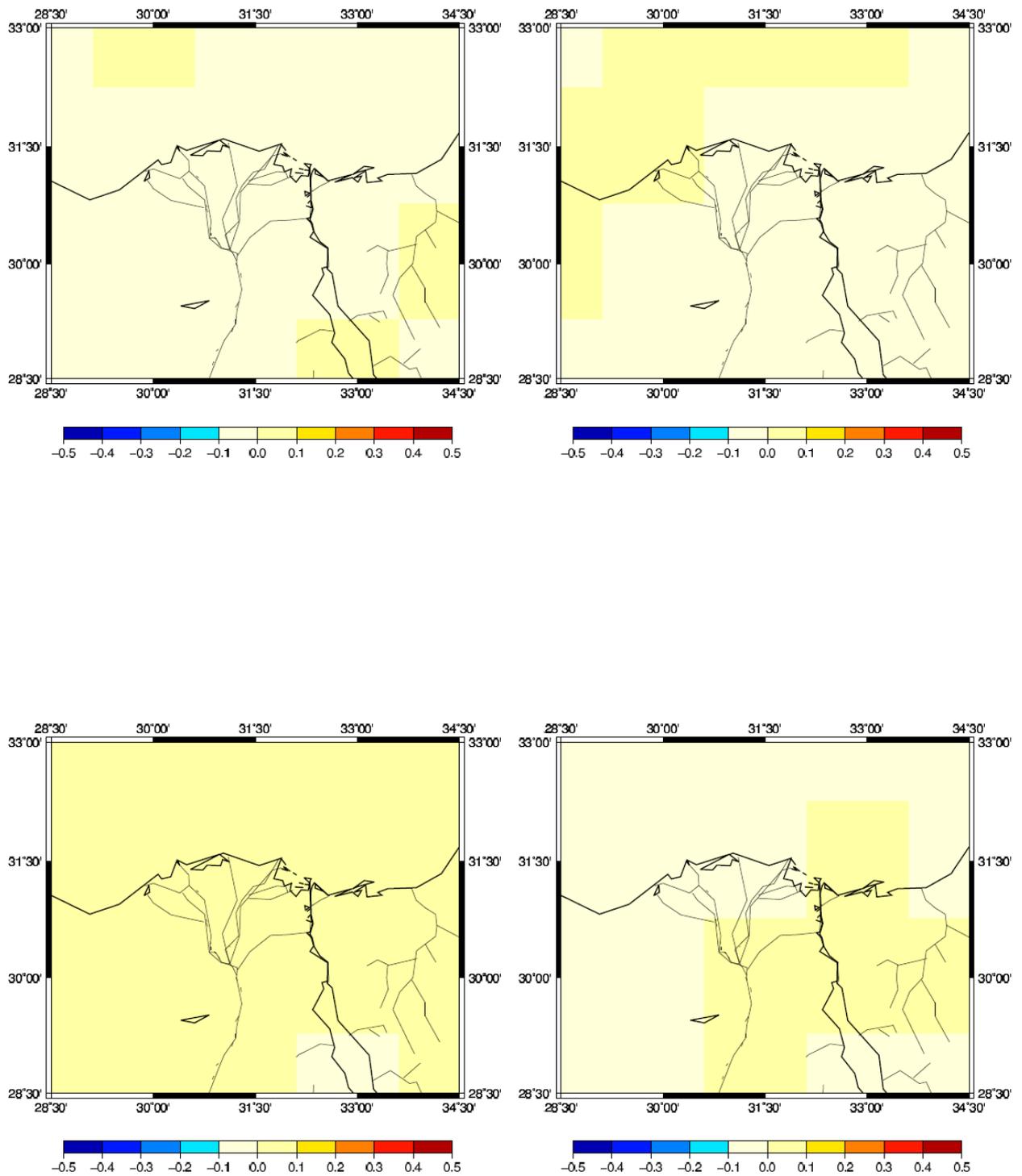


図 118 可降水量の時間変化分布図 (2009 年 12 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

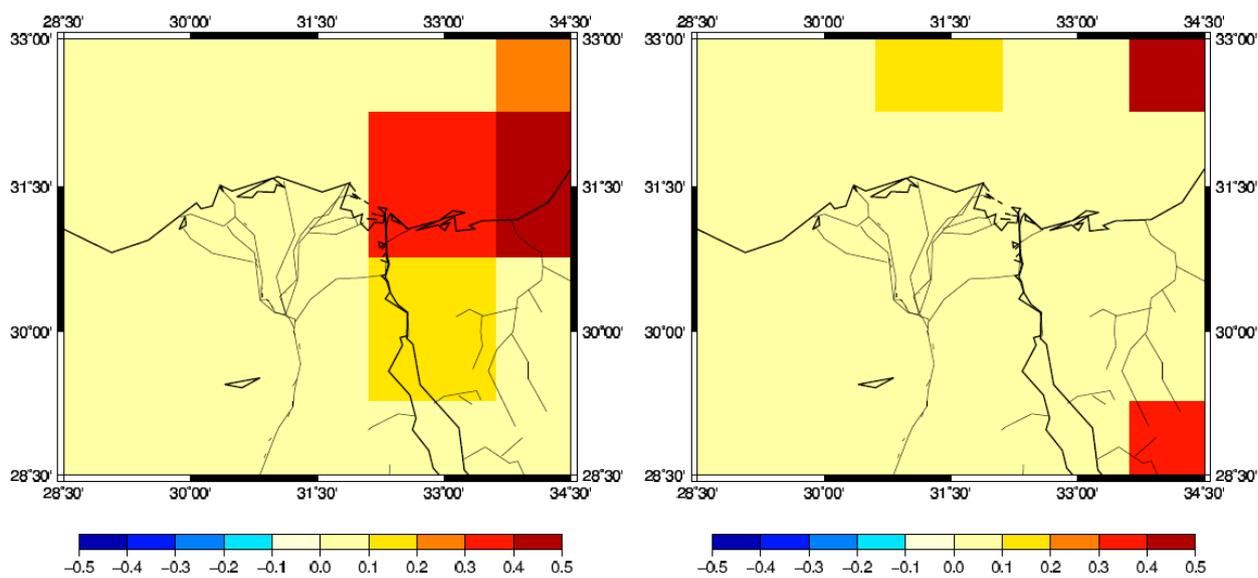
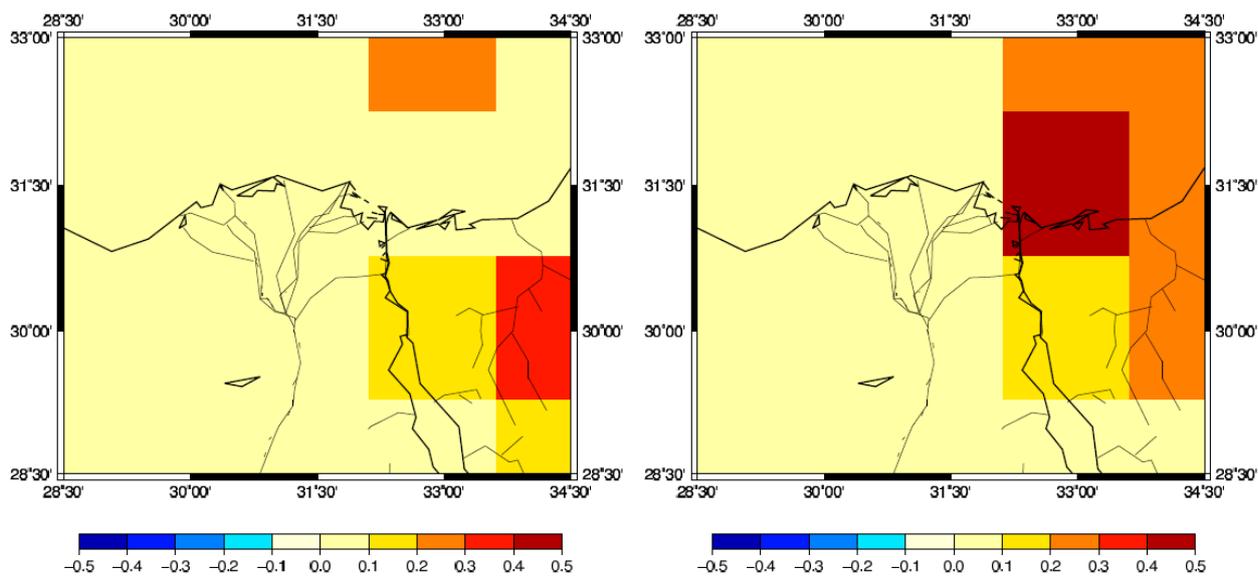


図 119 降水量の分布 (2009 年 12 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

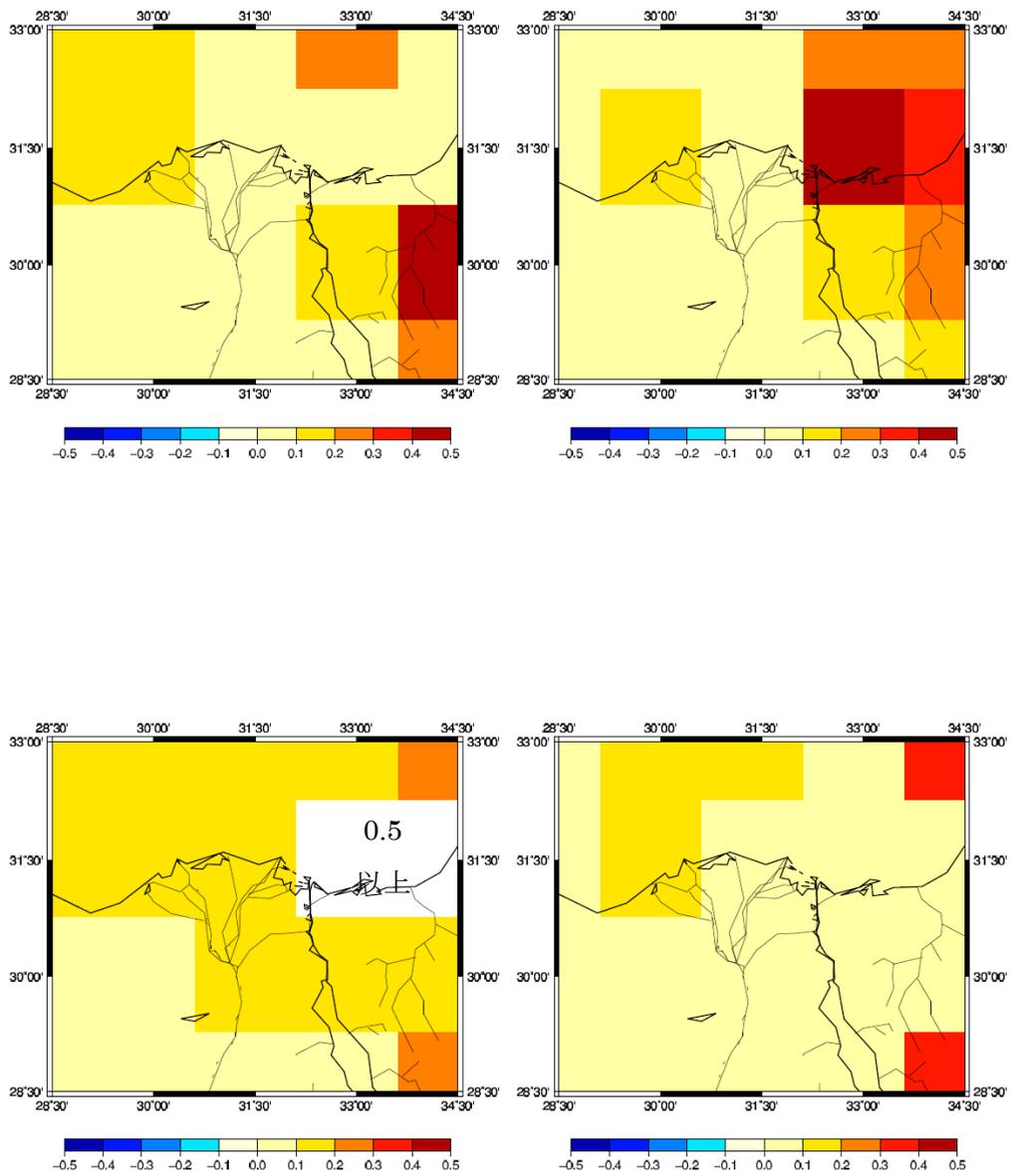


図 120 蒸発散量の分布 (2009 年 12 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

表 16 蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 12 月平均)

December	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	0.28	-0.33	0.33
0600 UTC	0.10	0.01	-0.11
1200 UTC	-0.29	-0.31	0.17
1800 UTC	-0.07	0.13	0.25

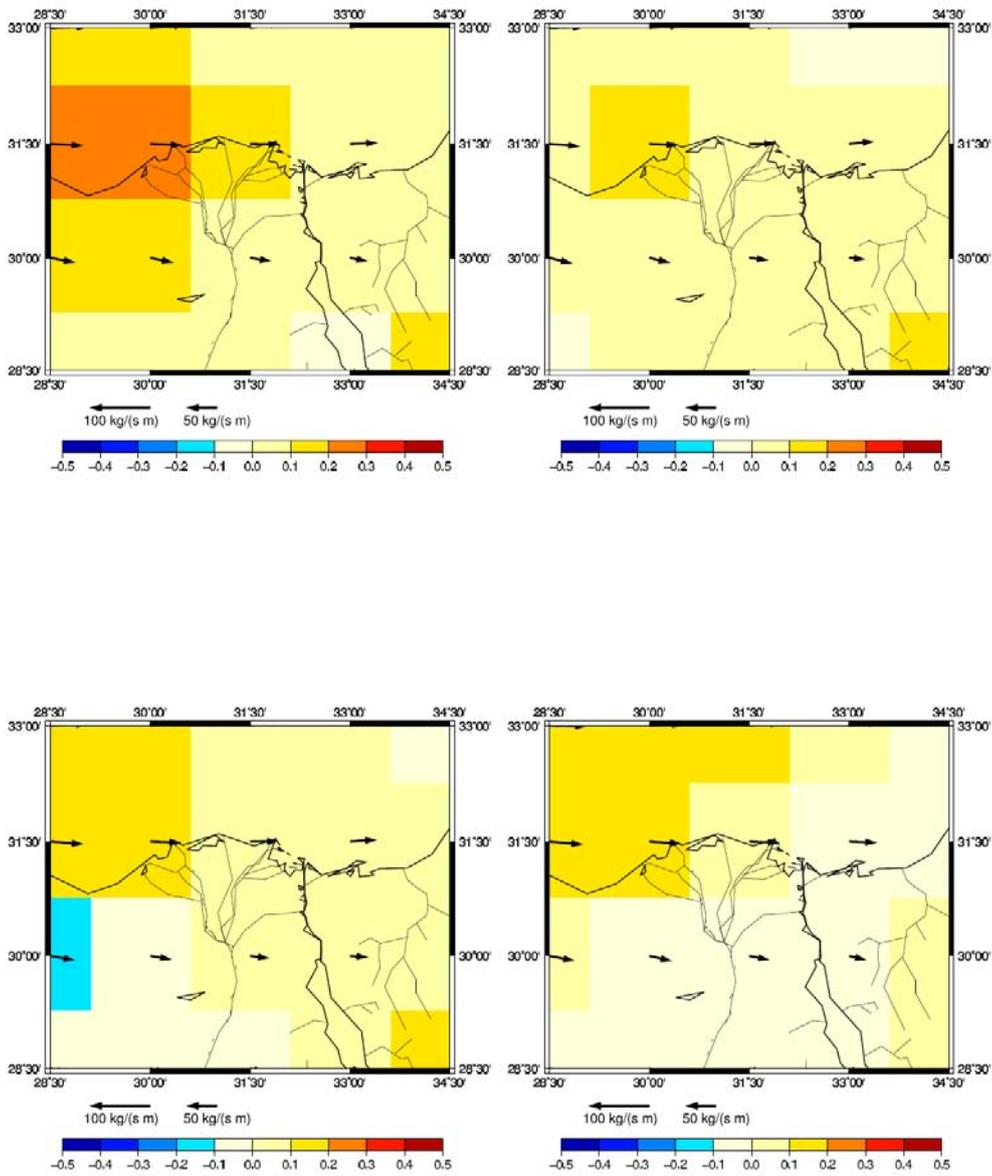


図 121 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2009 年 12 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す.

表 17 水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2009 年 12 月平均)

December	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.49	-0.85	-0.44
0600 UTC	-0.68	-0.74	-0.80
1200 UTC	-0.68	-0.92	-0.67
1800 UTC	-0.82	-0.68	-0.67

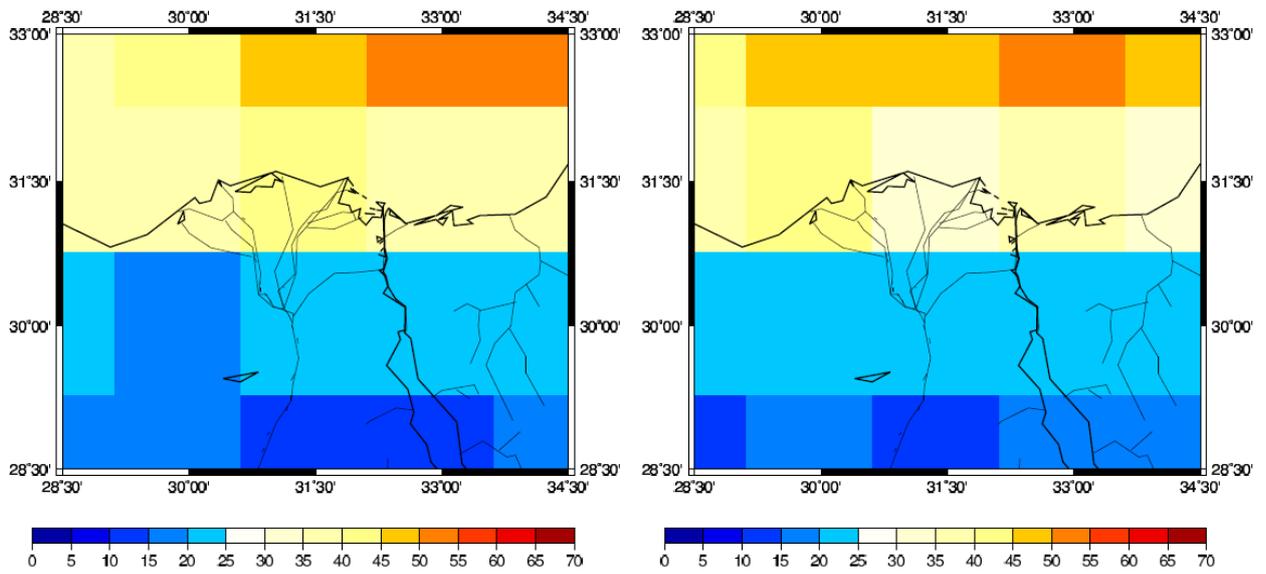
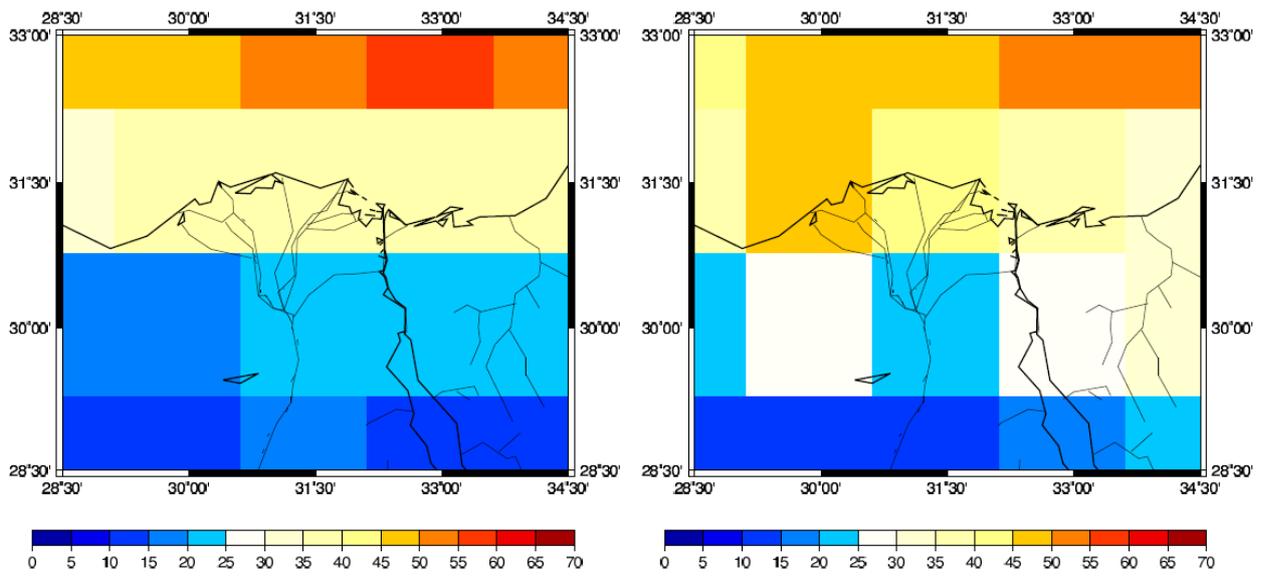


図 122 全雲量分布の分布 (2010 年 1 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

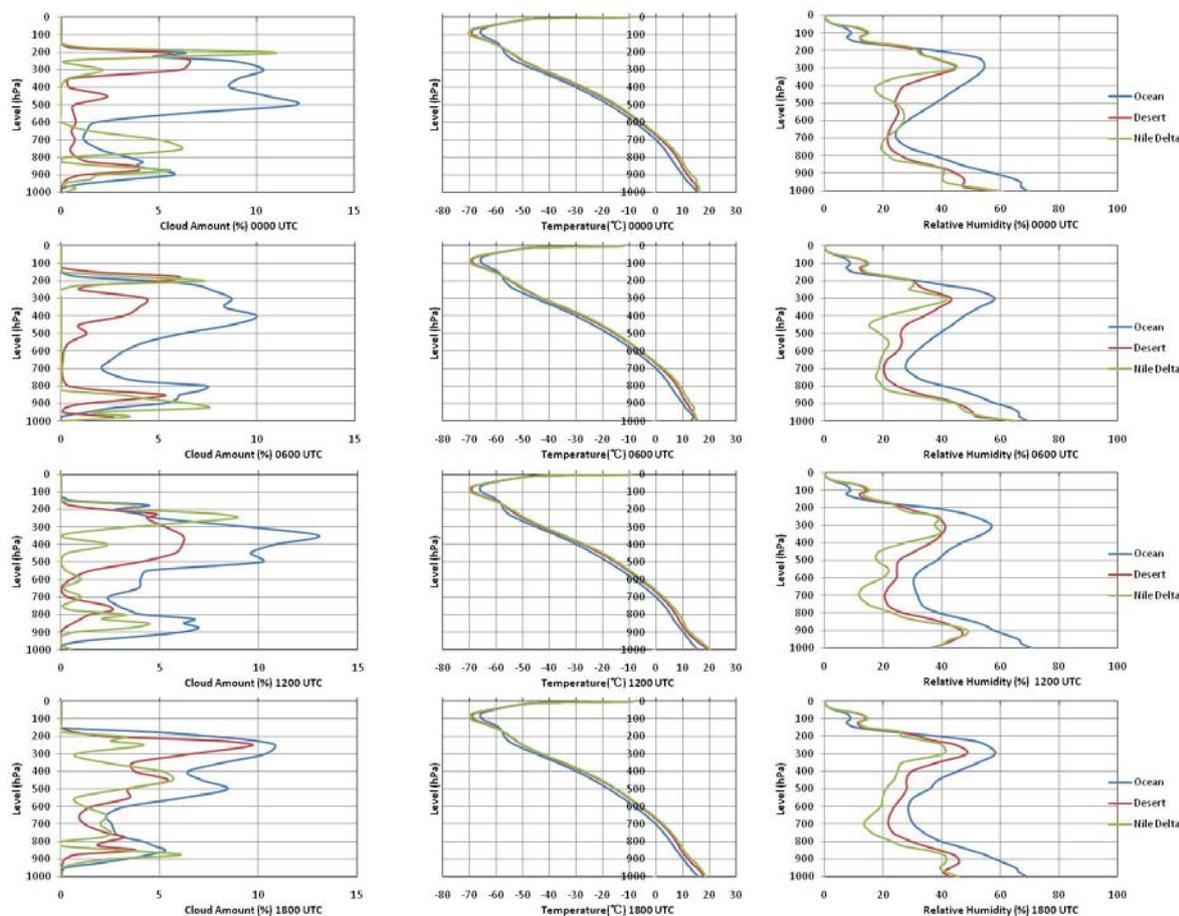


図 123 時間別気象要因高度分布 (2010 年 1 月平均)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 18 持ち上げ凝結高度 (2010 年 1 月平均, hPa)

Jan	ocean	desert	Nile Delta
0000 UTC	940	919	976
0600 UTC	940	925	961
1200 UTC	925	802	880
1800 UTC	940	873	945

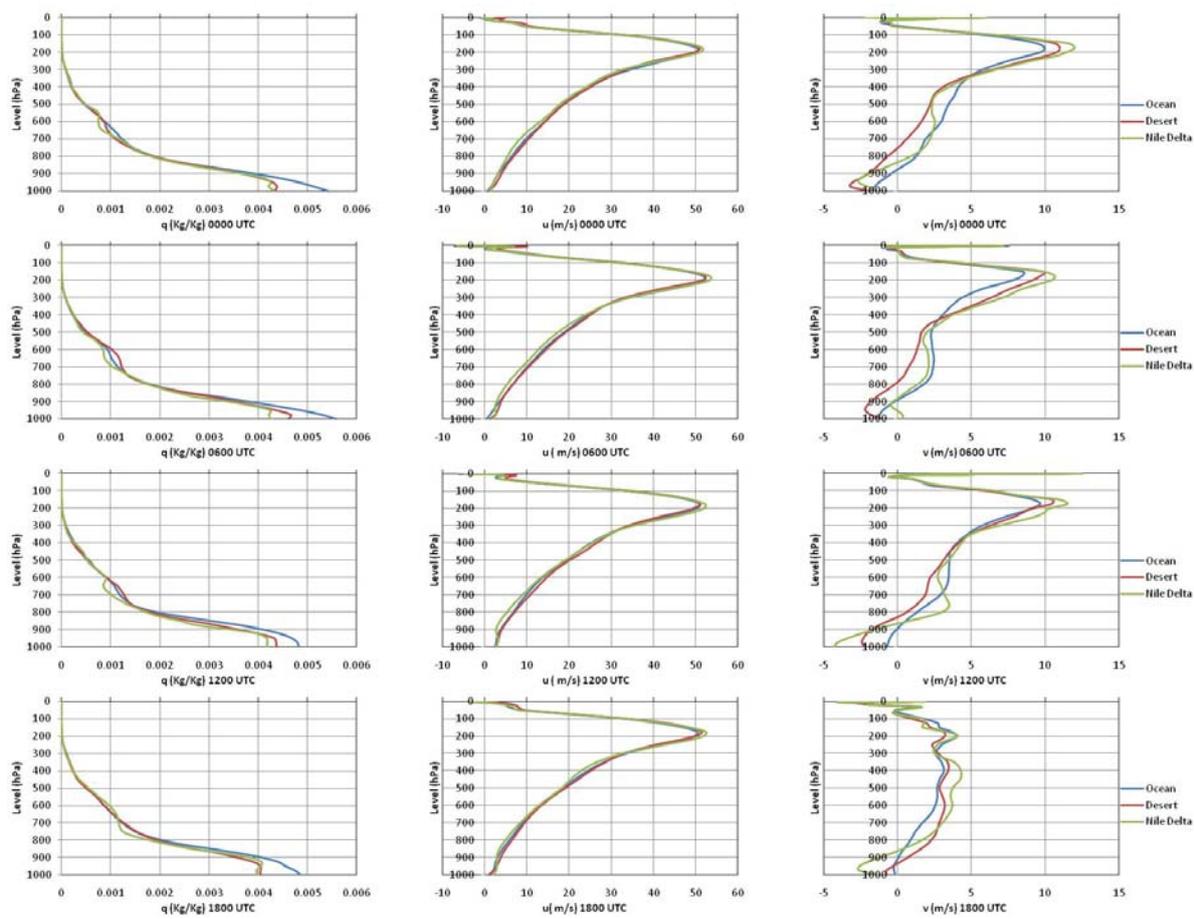


図 124 時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 1 月平均)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

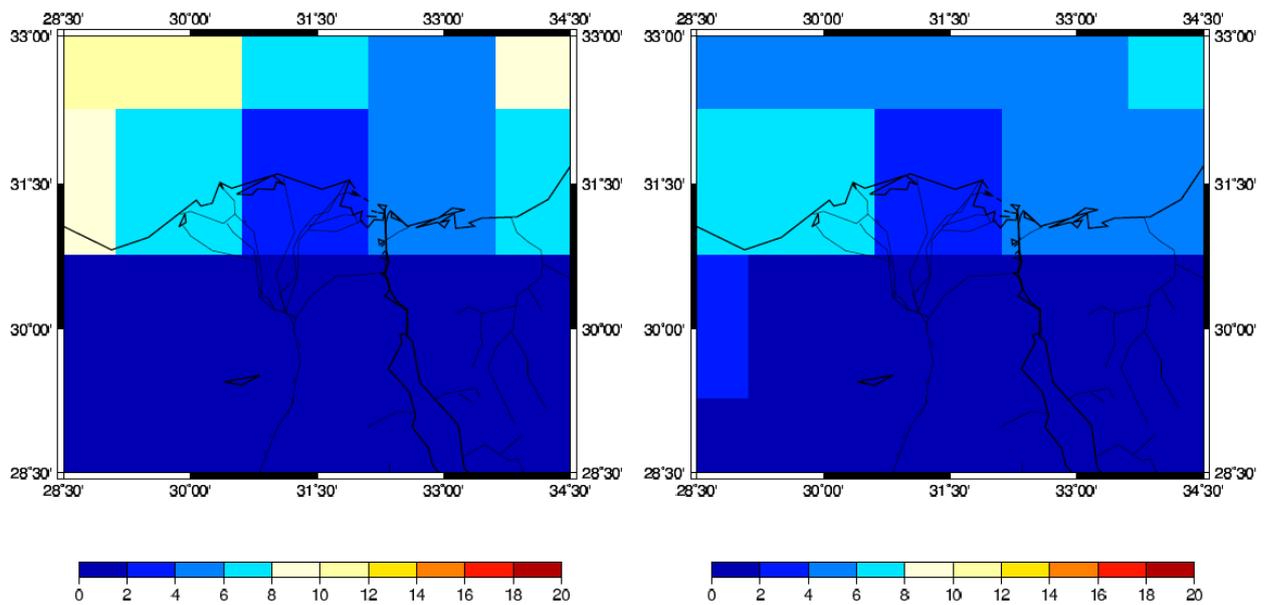
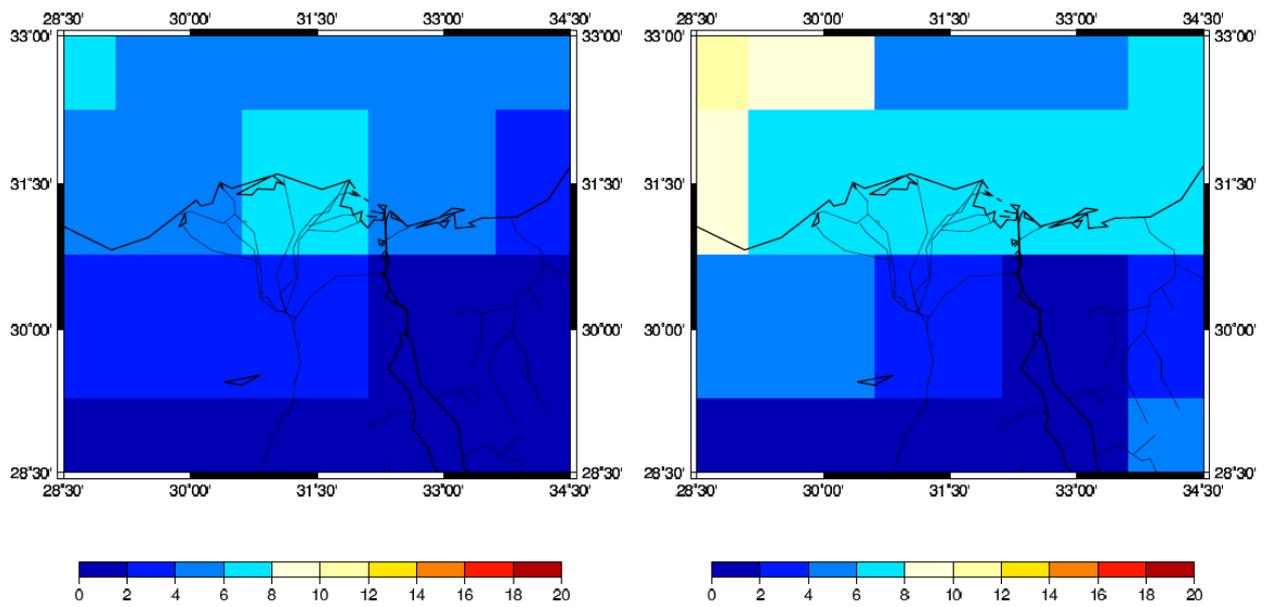


図 125 低層雲の雲分布 (2010 年 1 月平均, 875 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は mm/hour

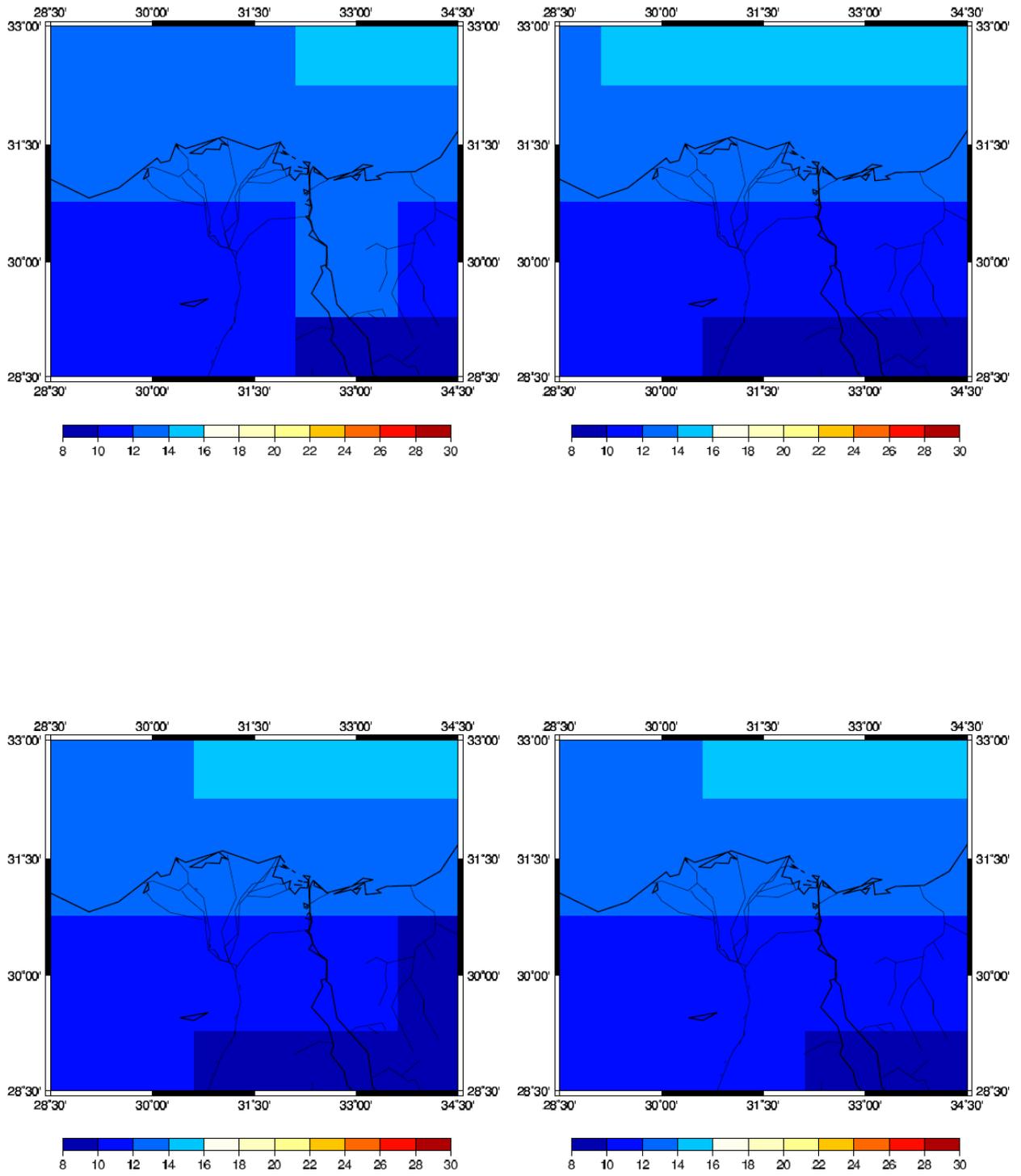


図 126 可降水量の分布図 (2010 年 1 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

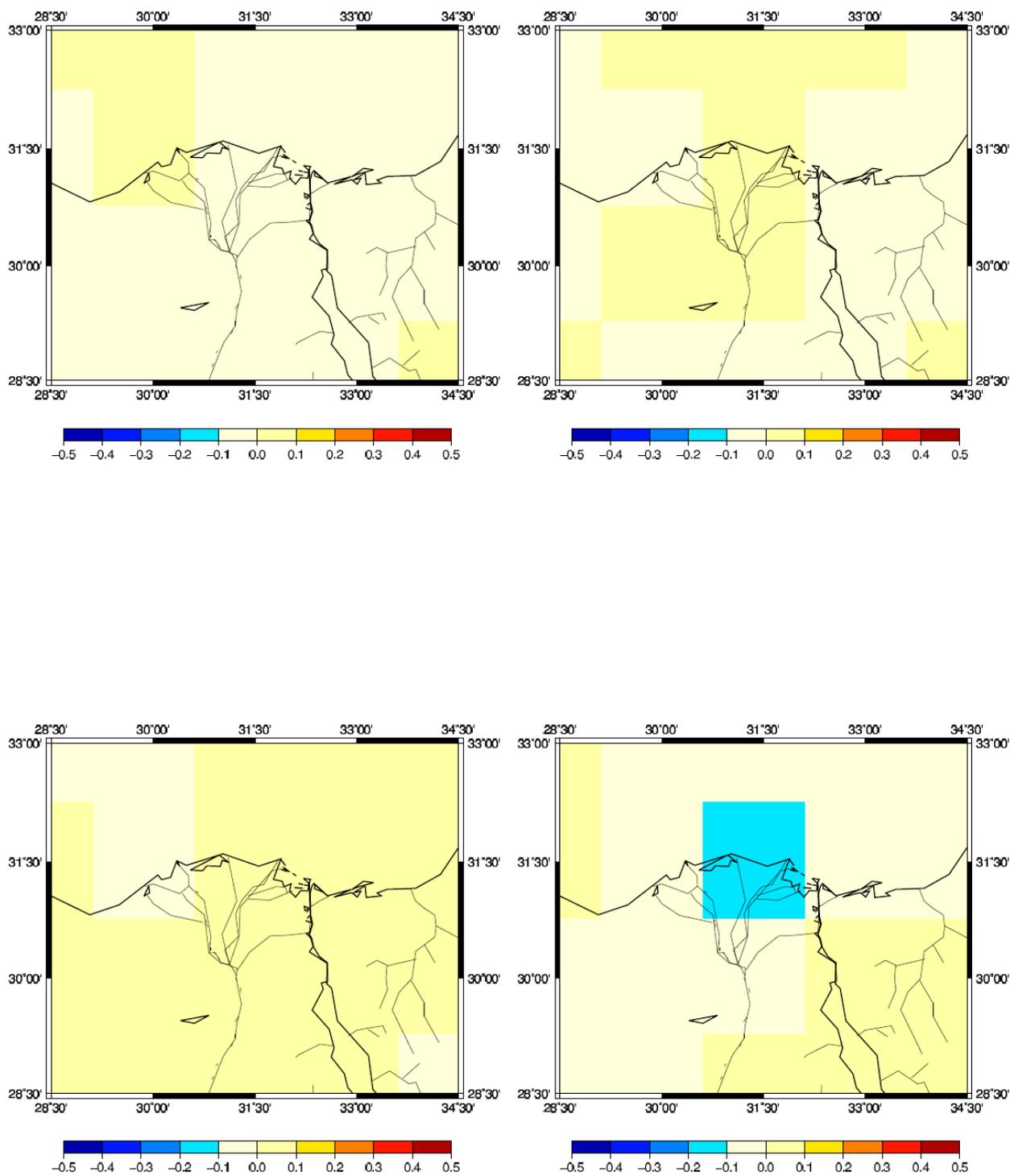


図 127 可降水量の時間変化分布図 (2010 年 1 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

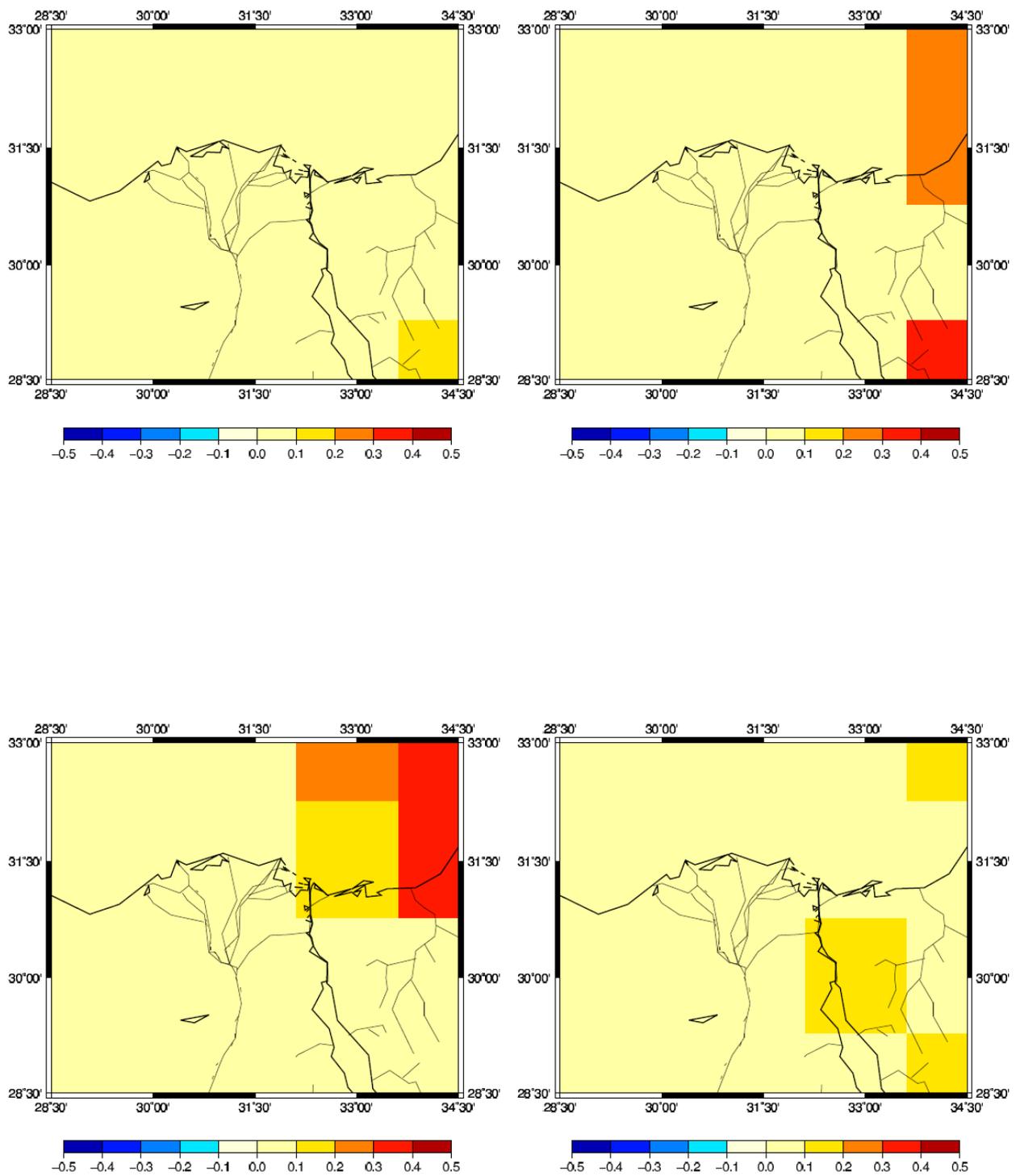


図 128 降水量の分布 (2010 年 1 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC ~ 当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC ~ 0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC ~ 1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC ~ 1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

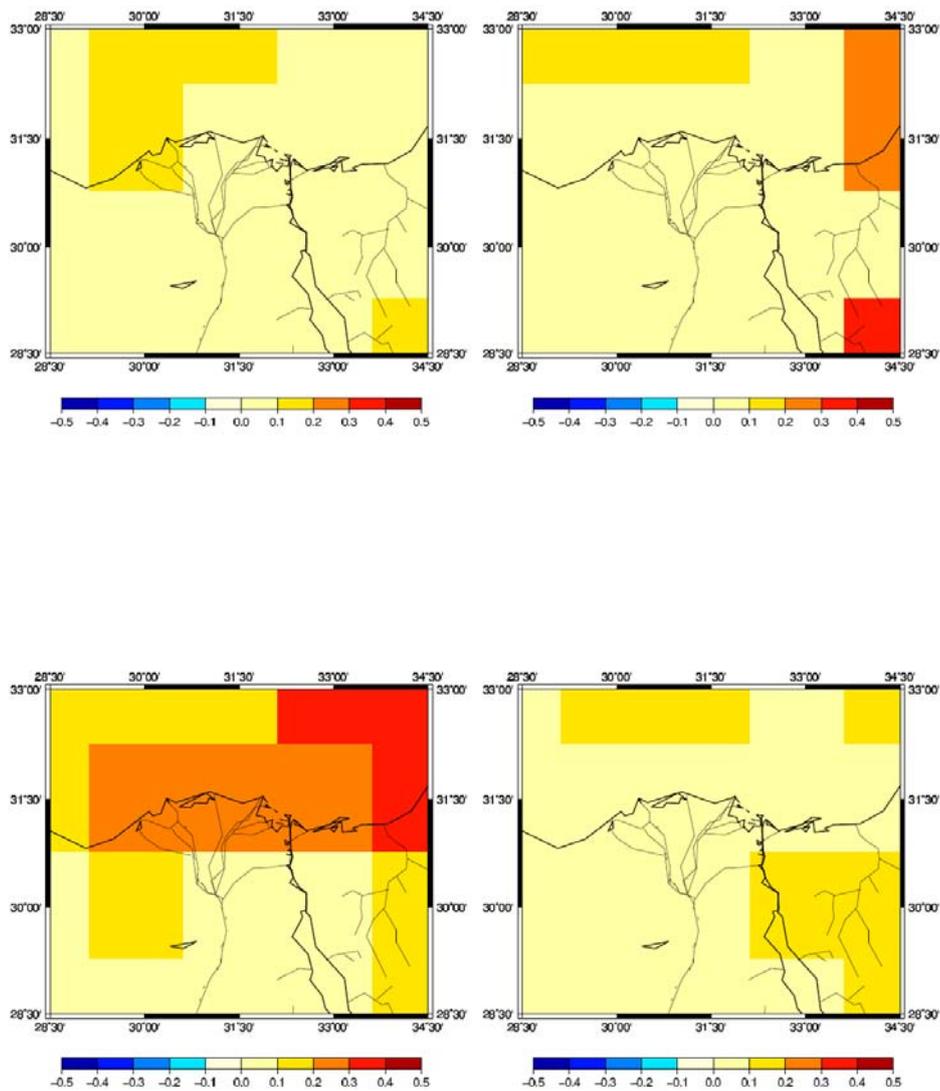


図 129 蒸発散量の分布 (2010 年 1 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

表 19 蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 1 月平均)

January	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	0.42	0.35	0.04
0600 UTC	-0.07	-0.03	-0.07
1200 UTC	-0.05	-0.03	0.42
1800 UTC	0.25	-0.21	0.02

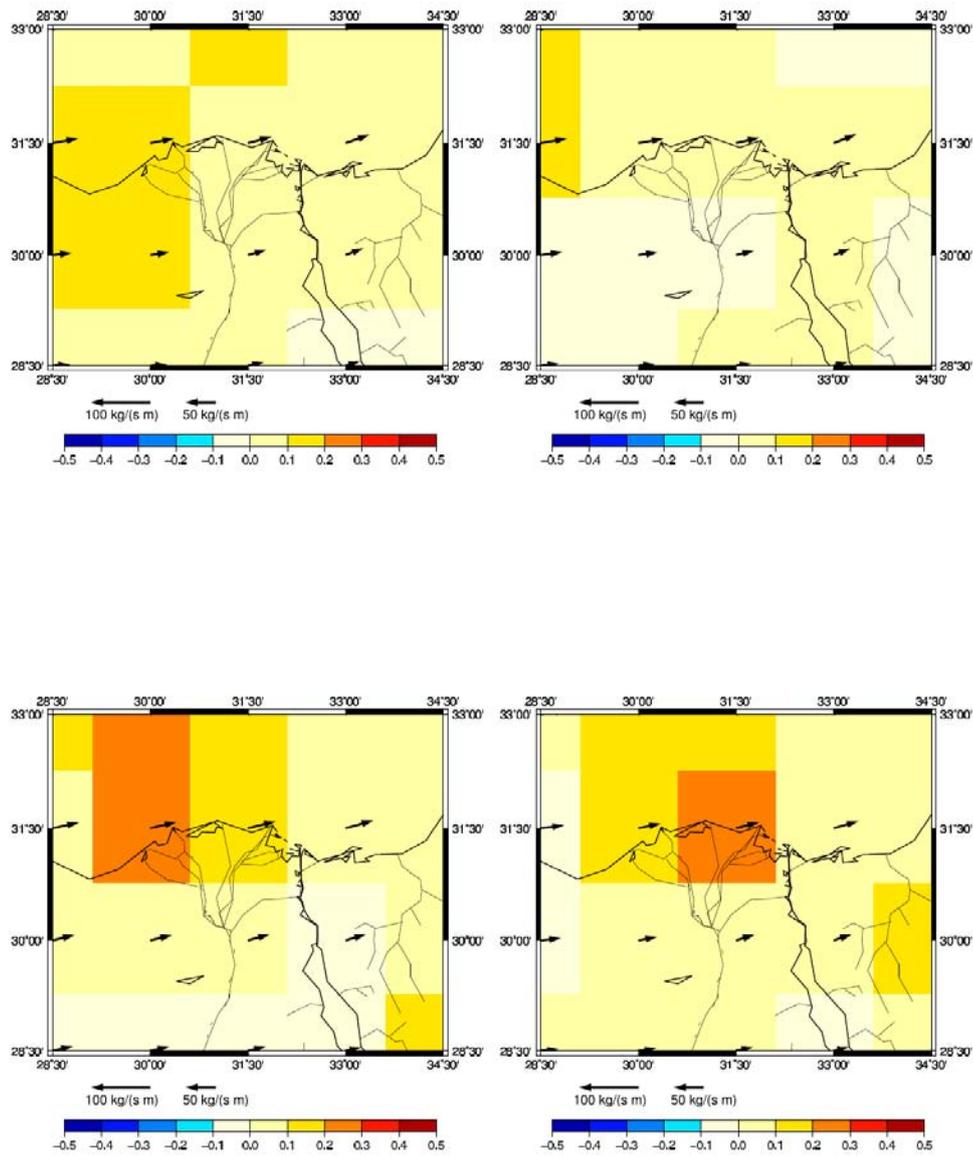


図 130 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 1 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す.

表 20 水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 1 月平均)

January	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.50	-0.63	-0.78
0600 UTC	-0.46	-0.86	-0.82
1200 UTC	-0.72	-0.55	-0.58
1800 UTC	-0.58	-0.79	-0.56

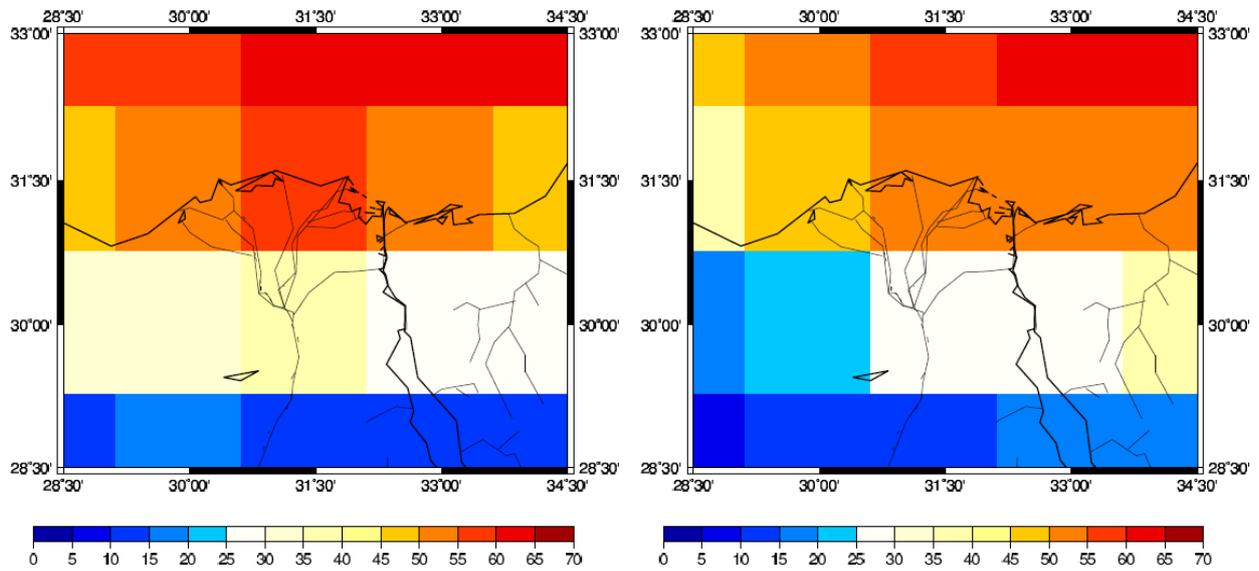
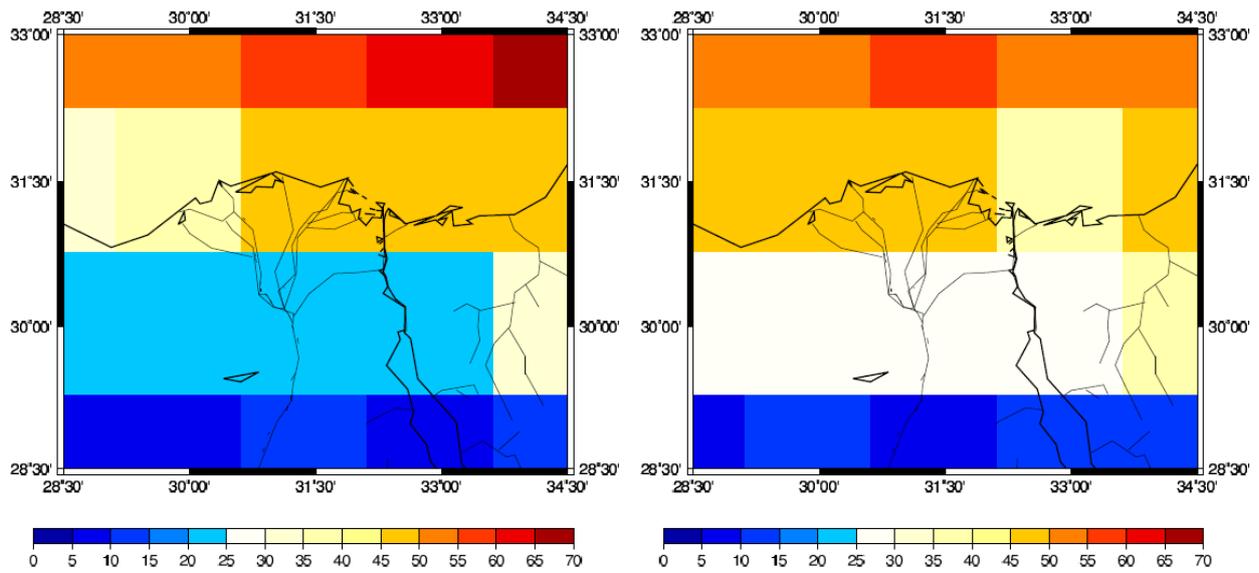


図 131 全雲量分布の分布 (2010 年 2 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

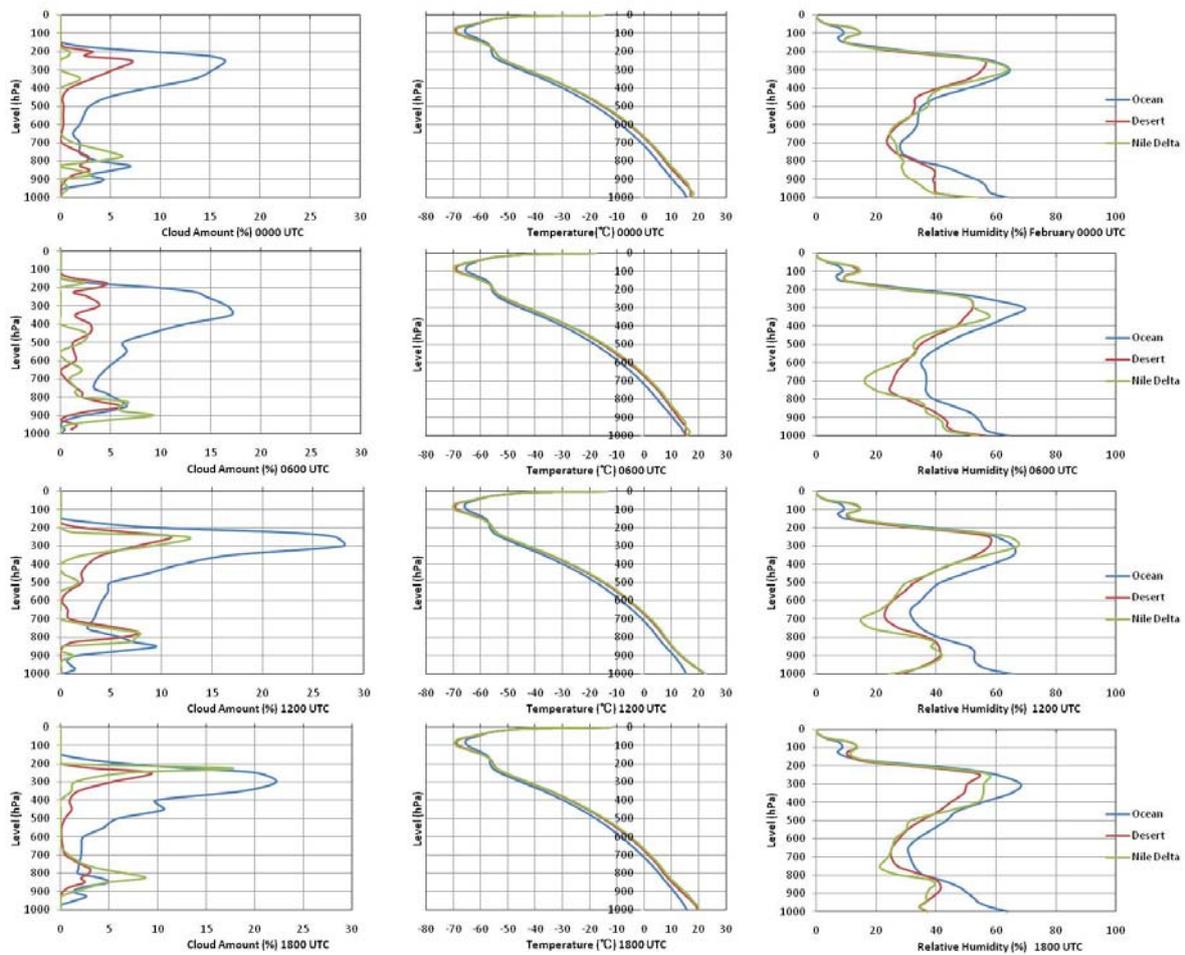


図 132 時間別気象要因高度分布 (2010 年 2 月平均)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 21 持ち上げ凝結高度 (2010 年 2 月平均, hPa)

Feb	ocean	desert	Nile Delta
0000 UTC	940	892	950
0600 UTC	934	900	944
1200 UTC	917	763	859
1800 UTC	935	835	932

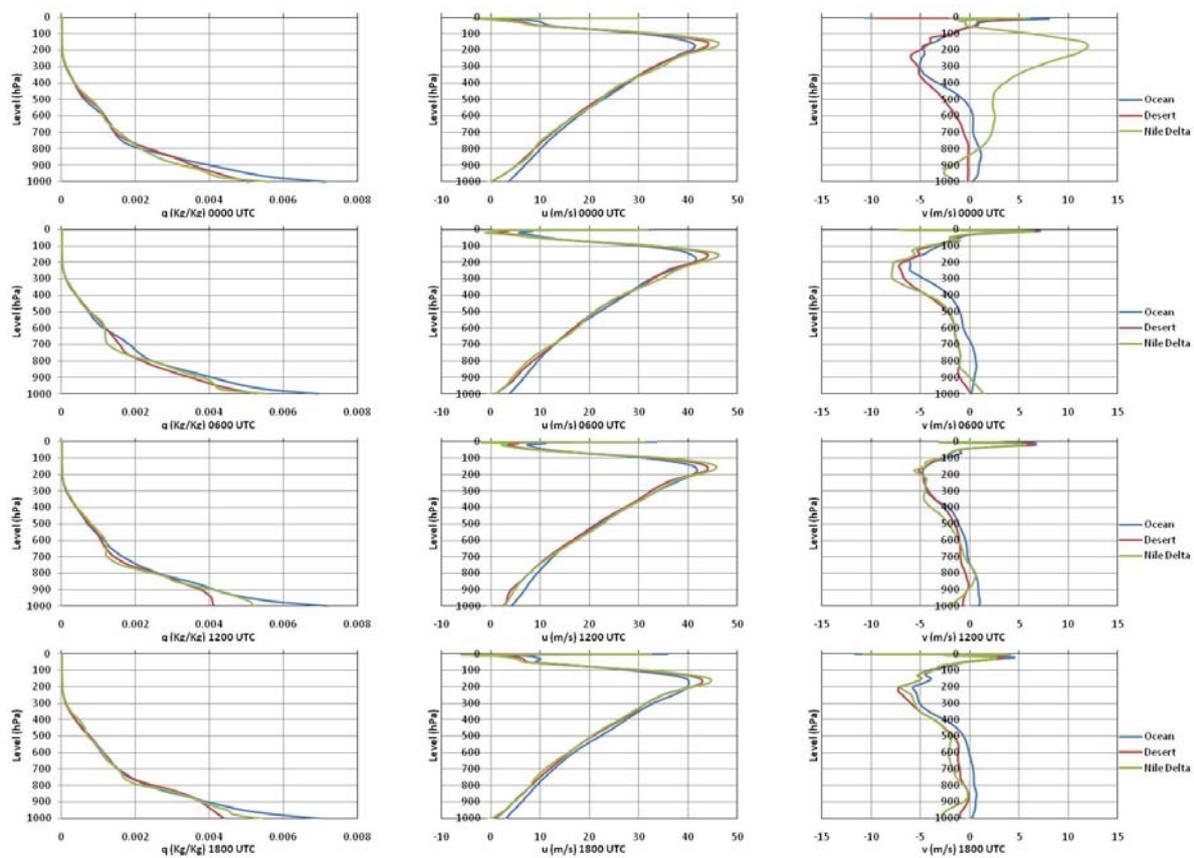


図 133 時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 2 月平均)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

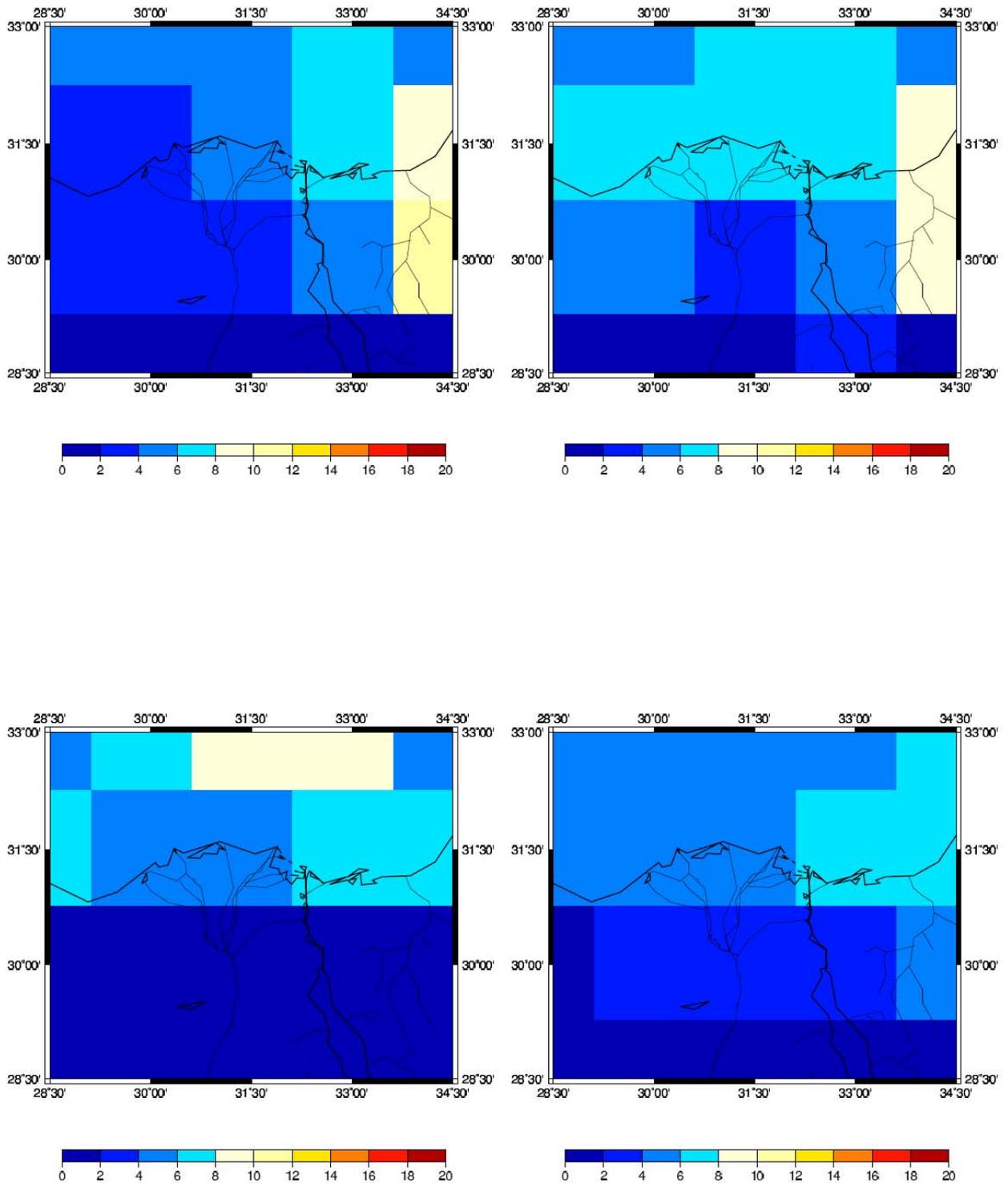


図 134 低層雲の分布 (2010 年 2 月平均, 850 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は mm/hour

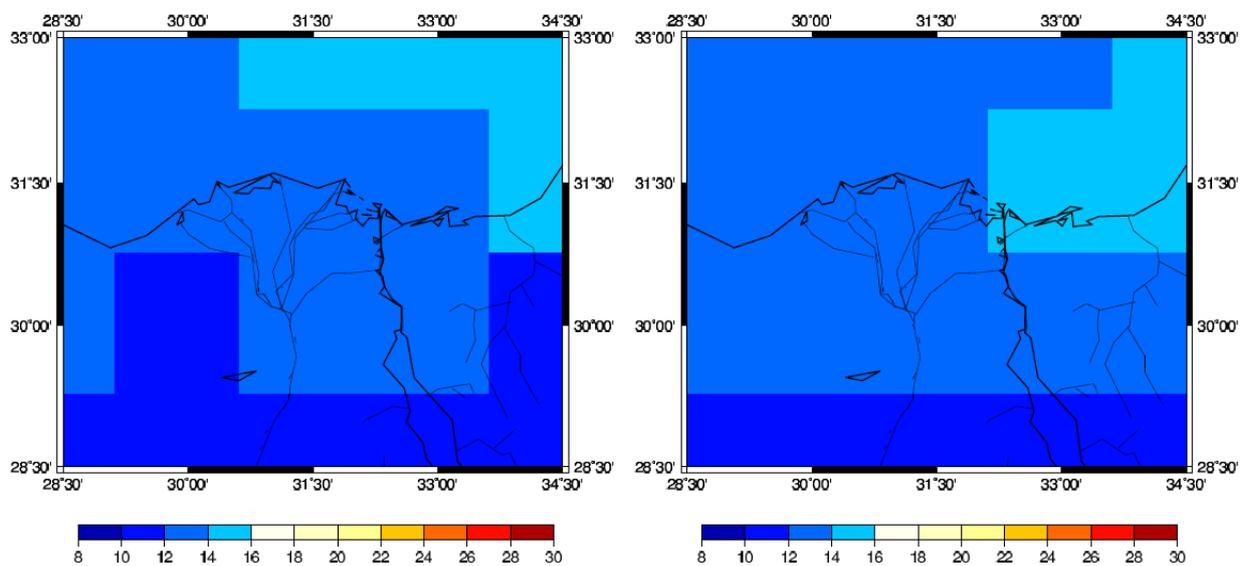
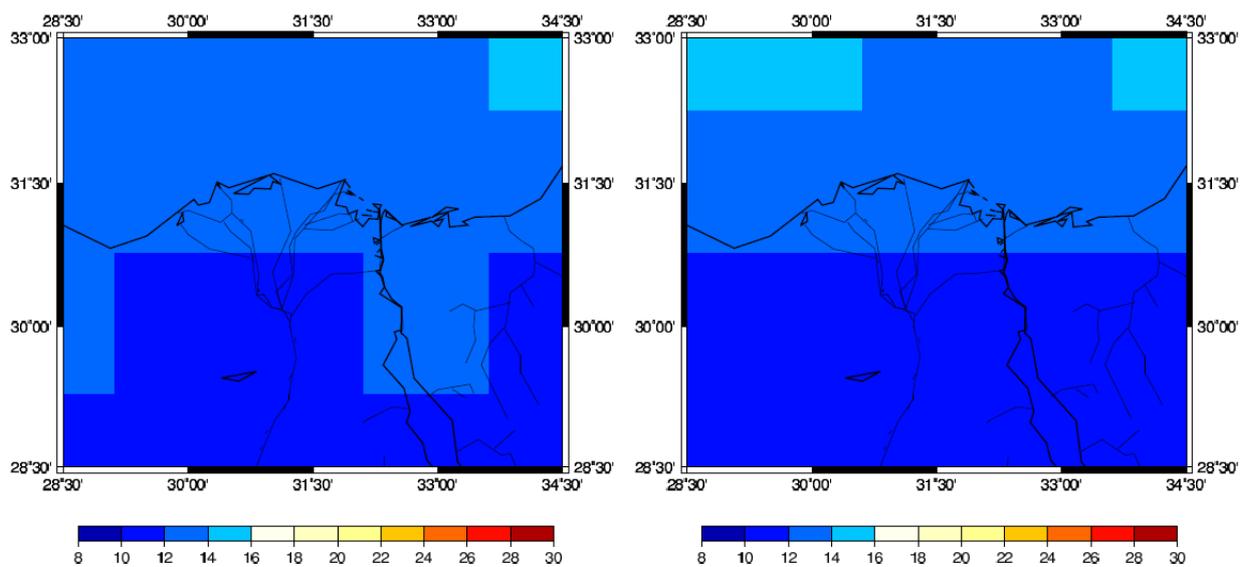


図 135 可降水量の分布図 (2010 年 2 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

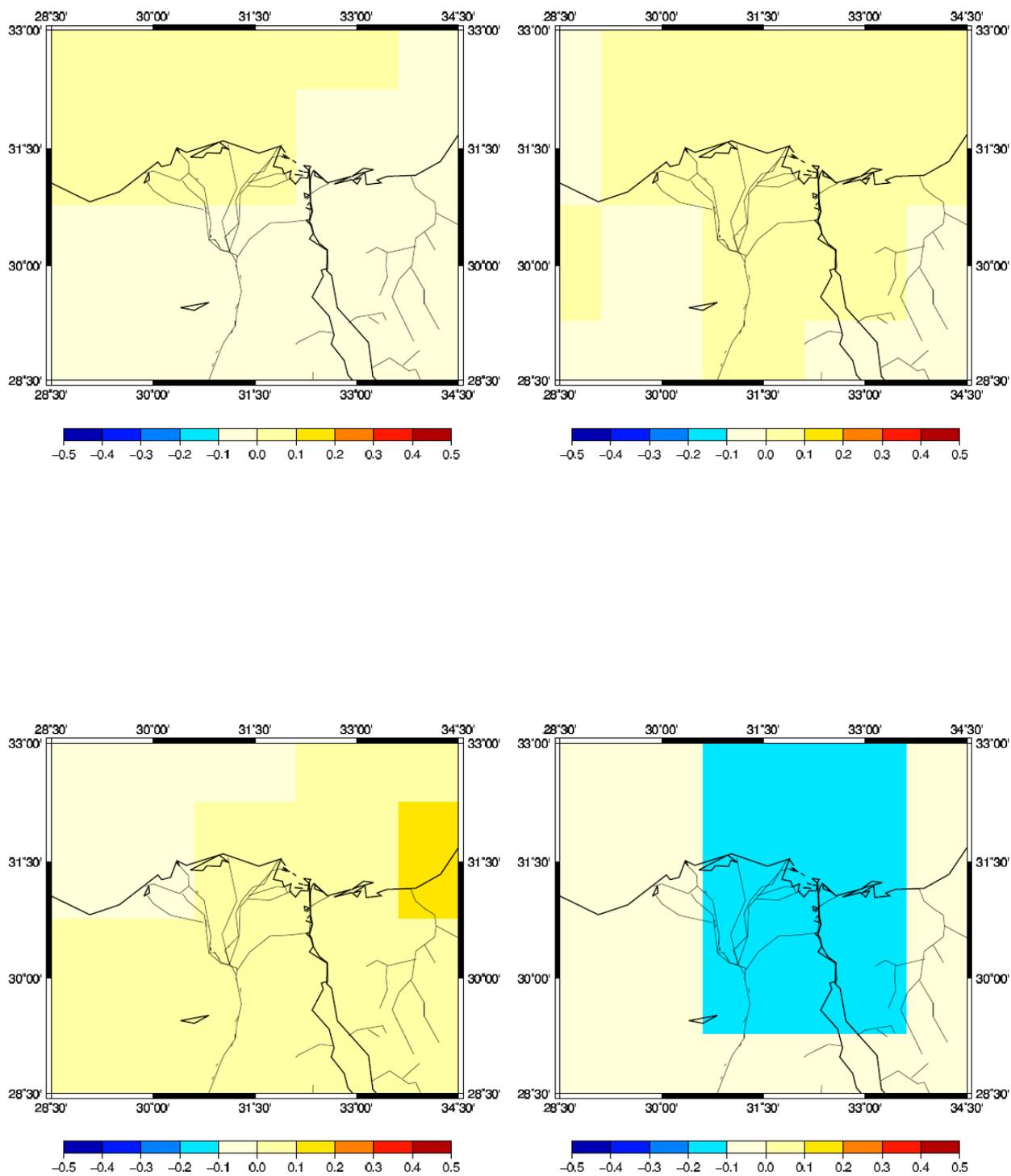


図 136 可降水量の時間変化分布図 (2010 年 2 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

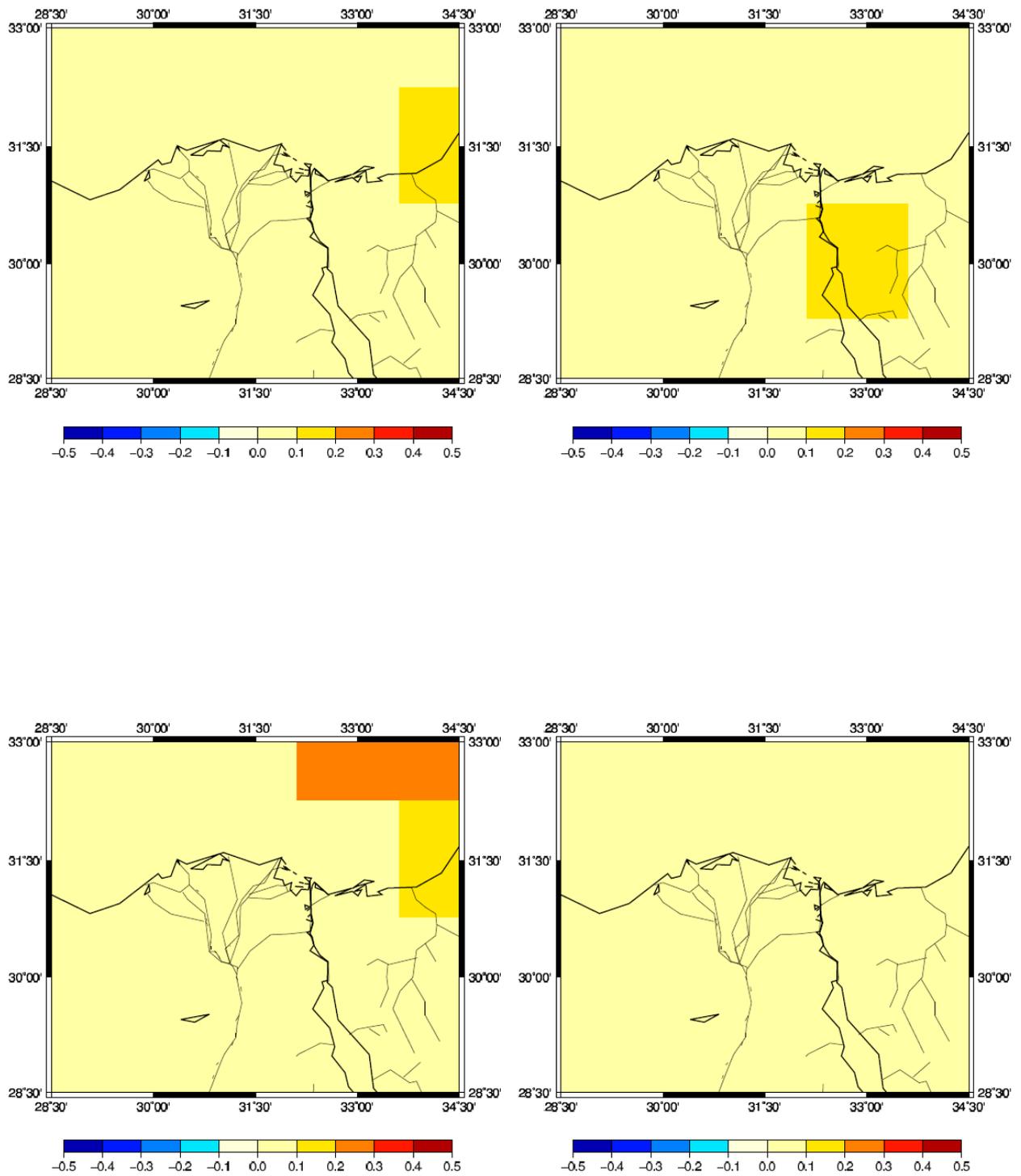


図 137 降水量の分布 (2010年2月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

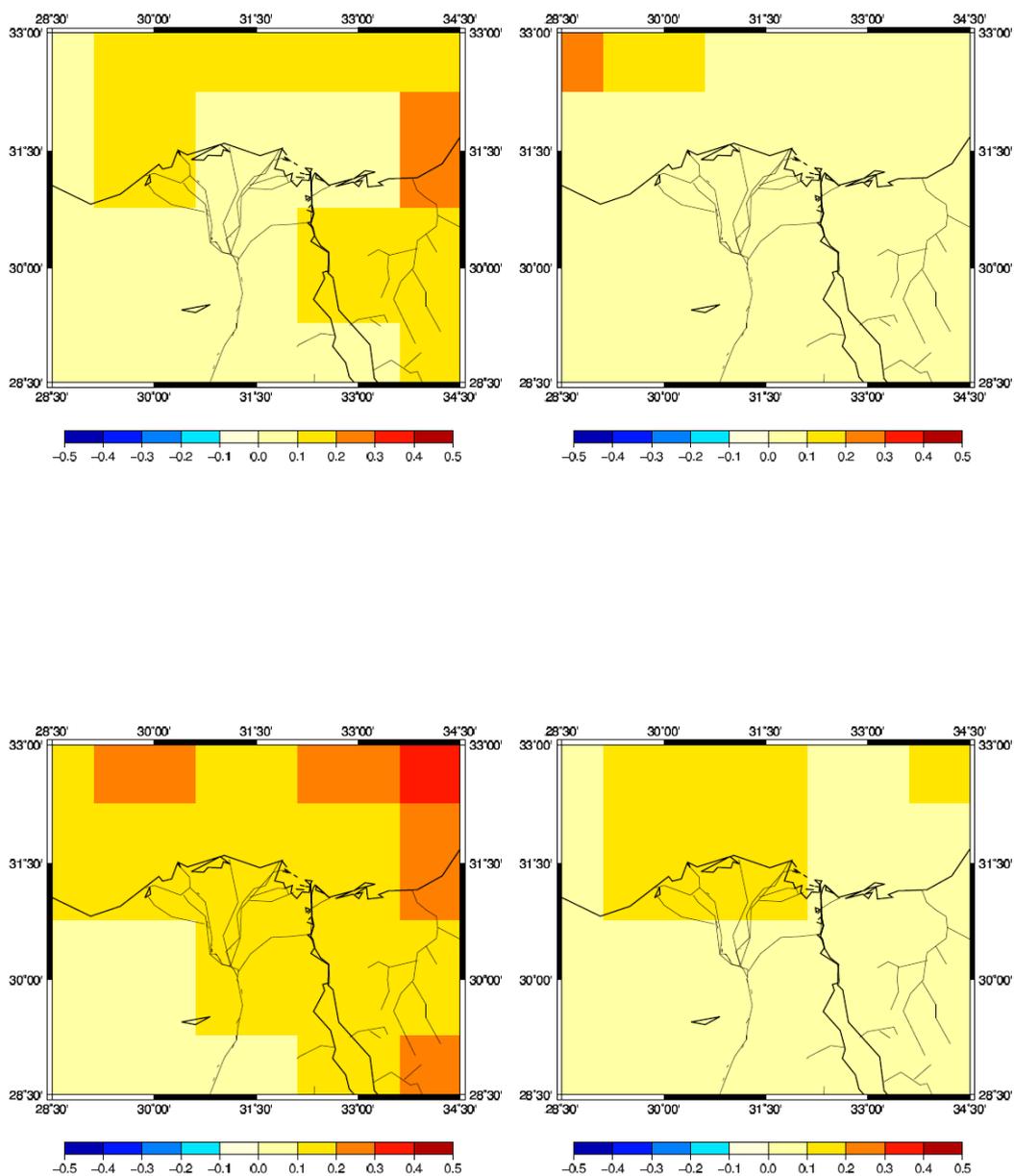


図 138 蒸発散量の分布 (2010 年 2 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

表 22 蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 2 月平均)

February	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.60	0.16	0.13
0600 UTC	-0.24	-0.20	0.02
1200 UTC	0.08	0.16	-0.32
1800 UTC	0.17	-0.19	0.08

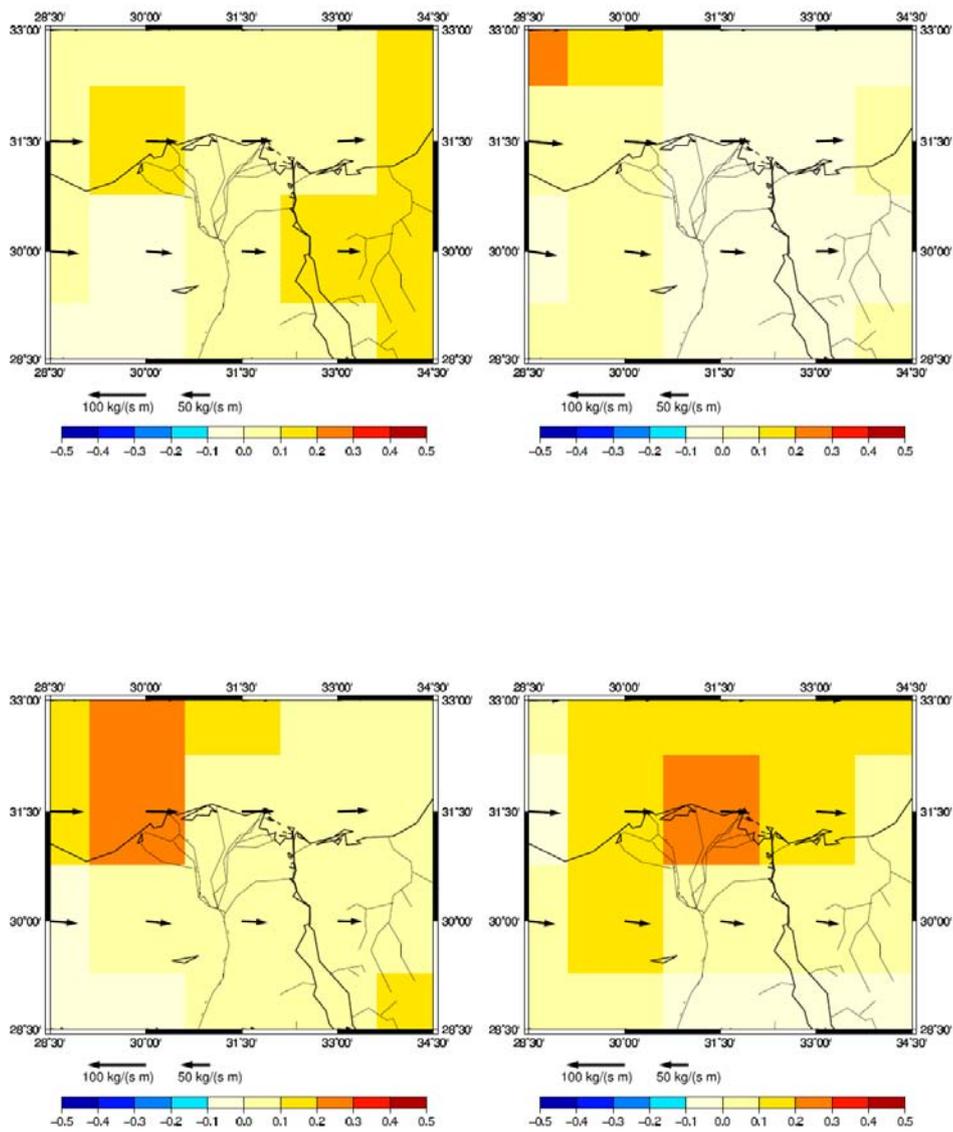


図 139 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010年2月平均)

左上：0000 UTC 右上：0600 UTC 左下：1200 UTC 右下：1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour)を表す。

表 23 水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010年2月平均)

February	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.86	-0.59	-0.40
0600 UTC	-0.81	-0.78	-0.48
1200 UTC	-0.55	-0.76	-0.72
1800 UTC	-0.64	-0.83	-0.59

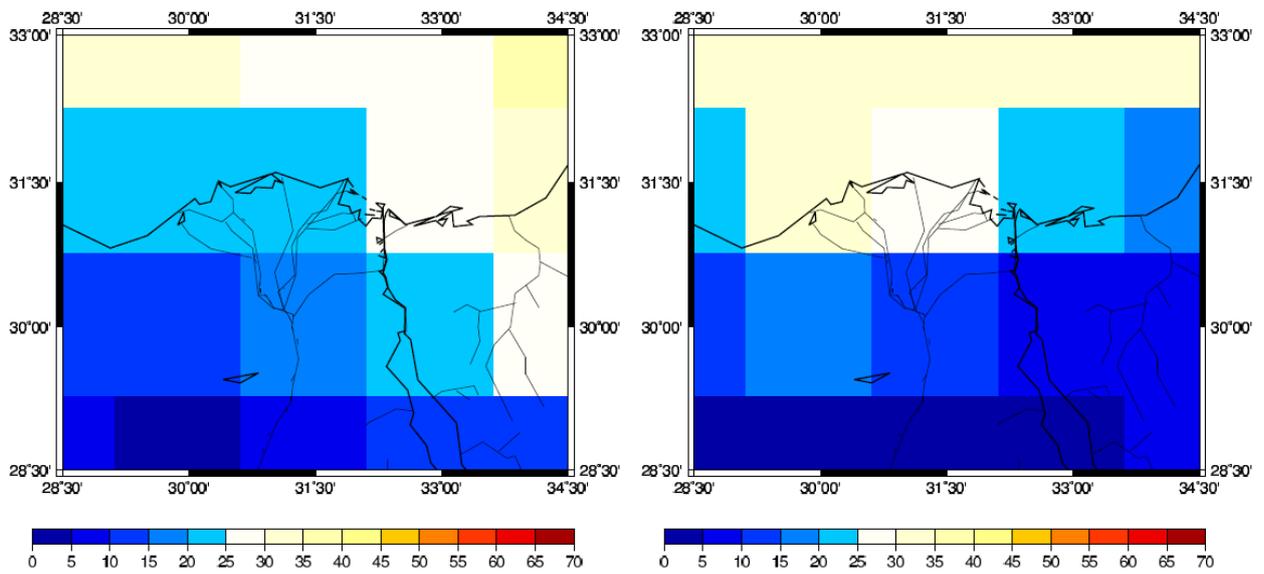
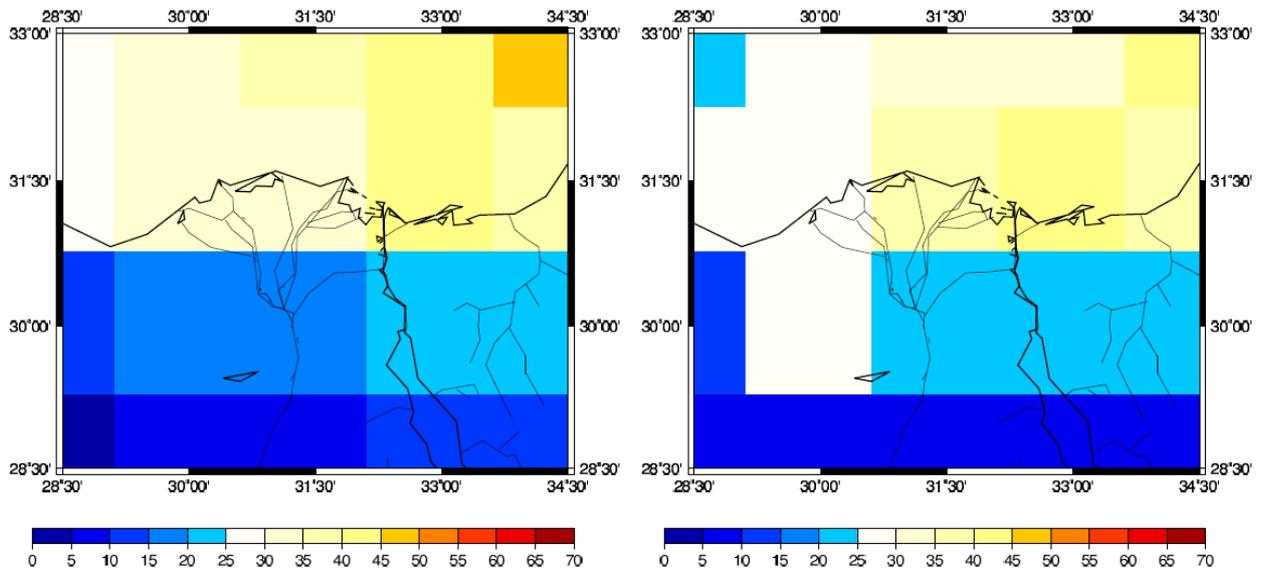


図 140 全雲量分布の分布 (2010 年 3 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

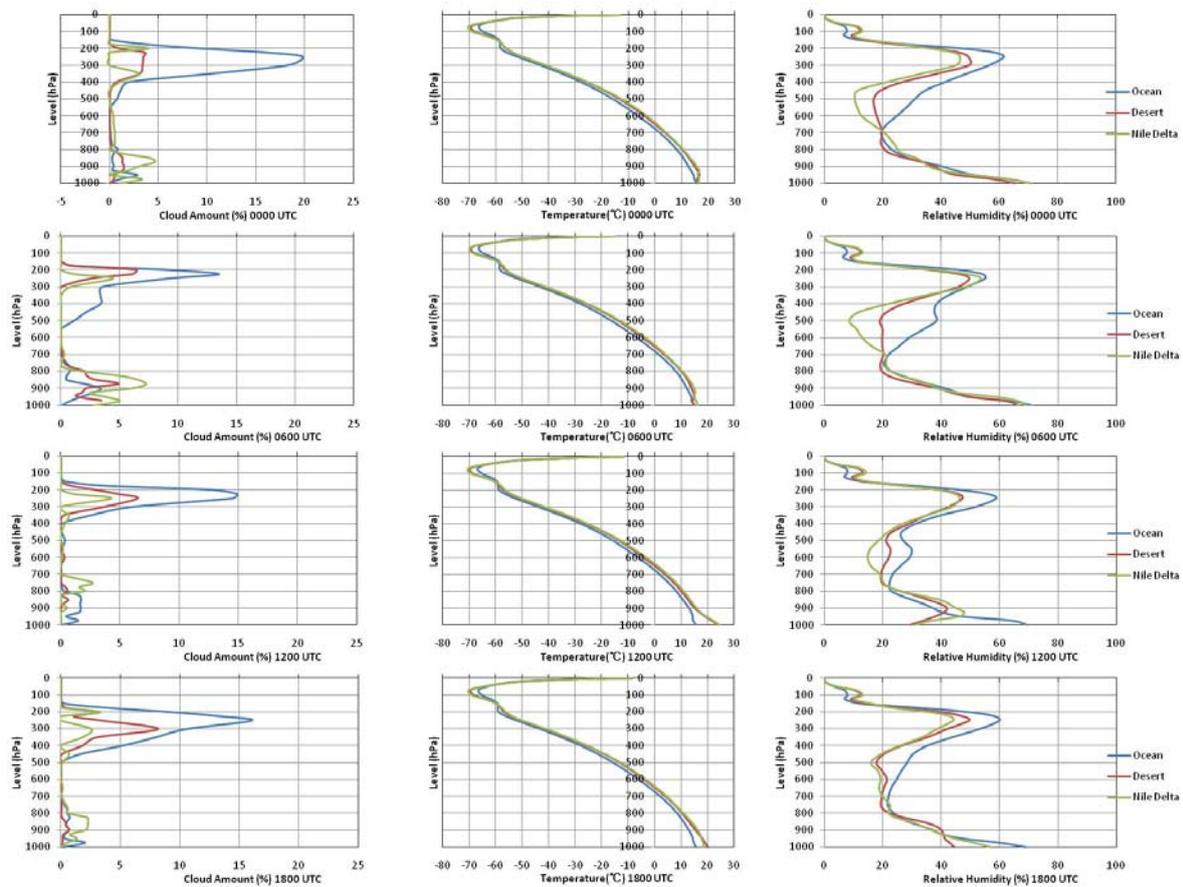


図 141 時間別気象要因高度分布 (2010 年 3 月平均)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 24 持ち上げ凝結高度 (2010 年 3 月平均, hPa)

Mar	ocean	desert	Nile Delta
0000 UTC	936	935	939
0600 UTC	929	914	946
1200 UTC	919	770	874
1800 UTC	741	594	723

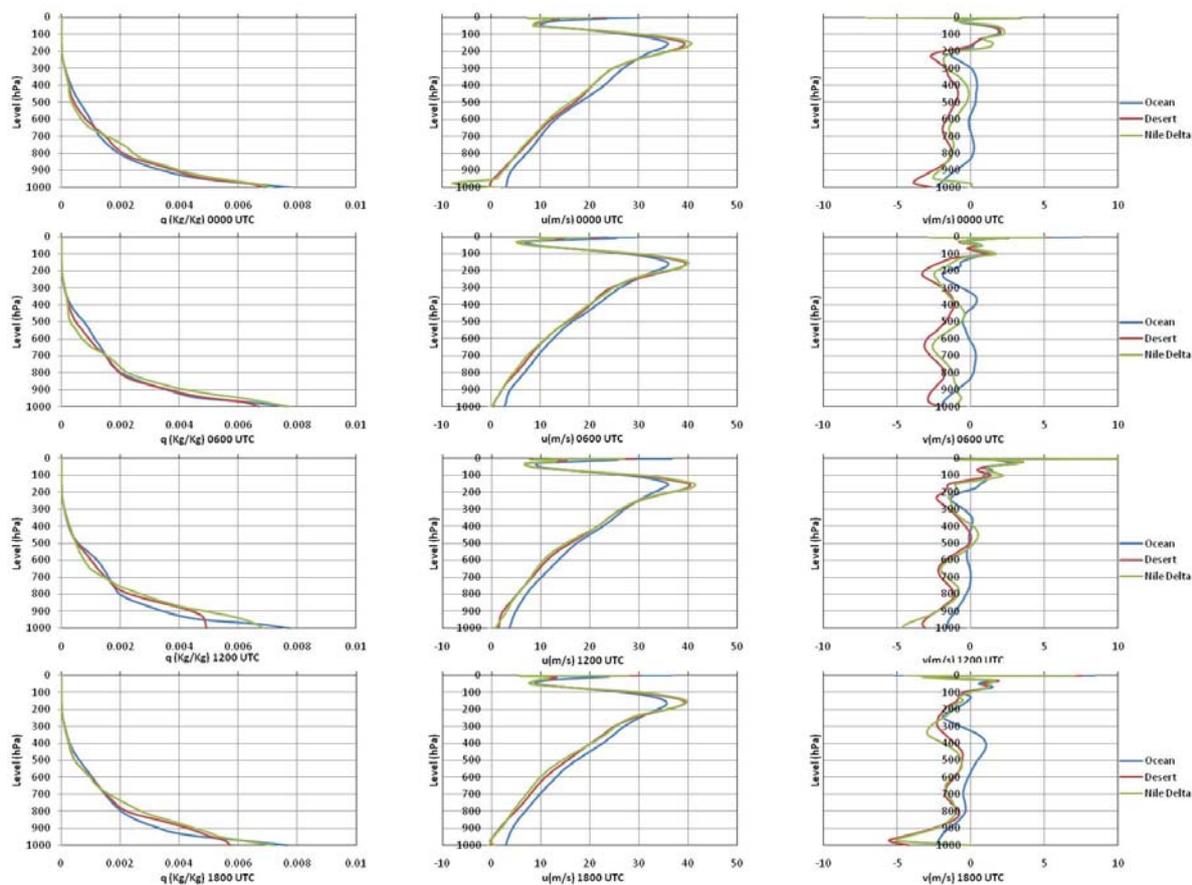


図 142 時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 3 月平均)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

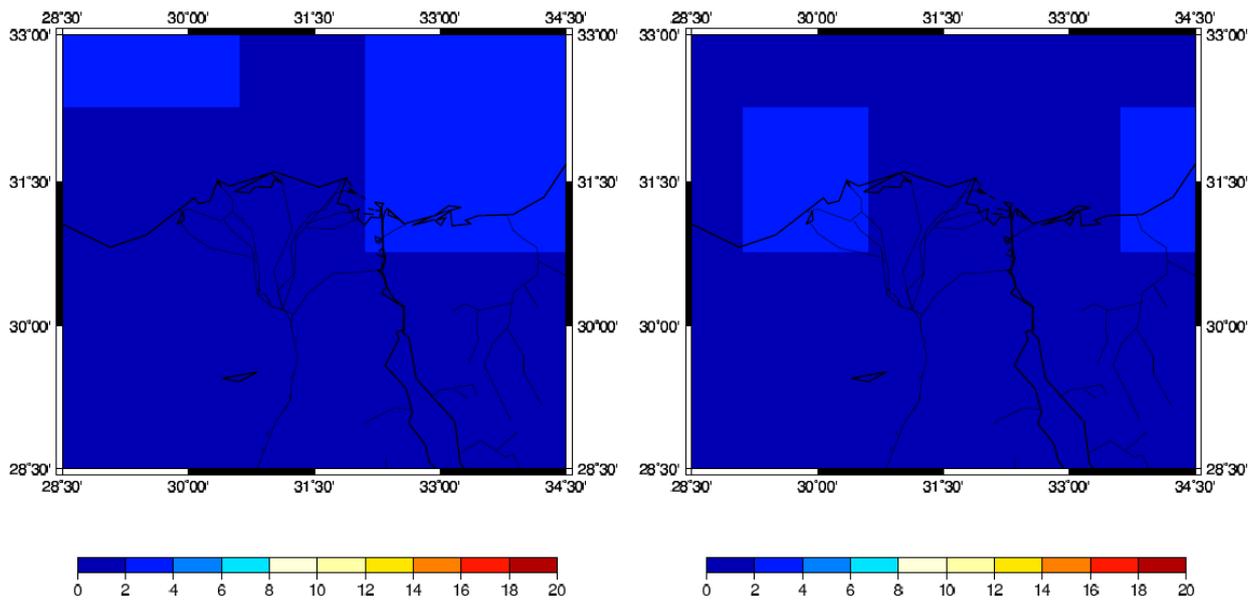
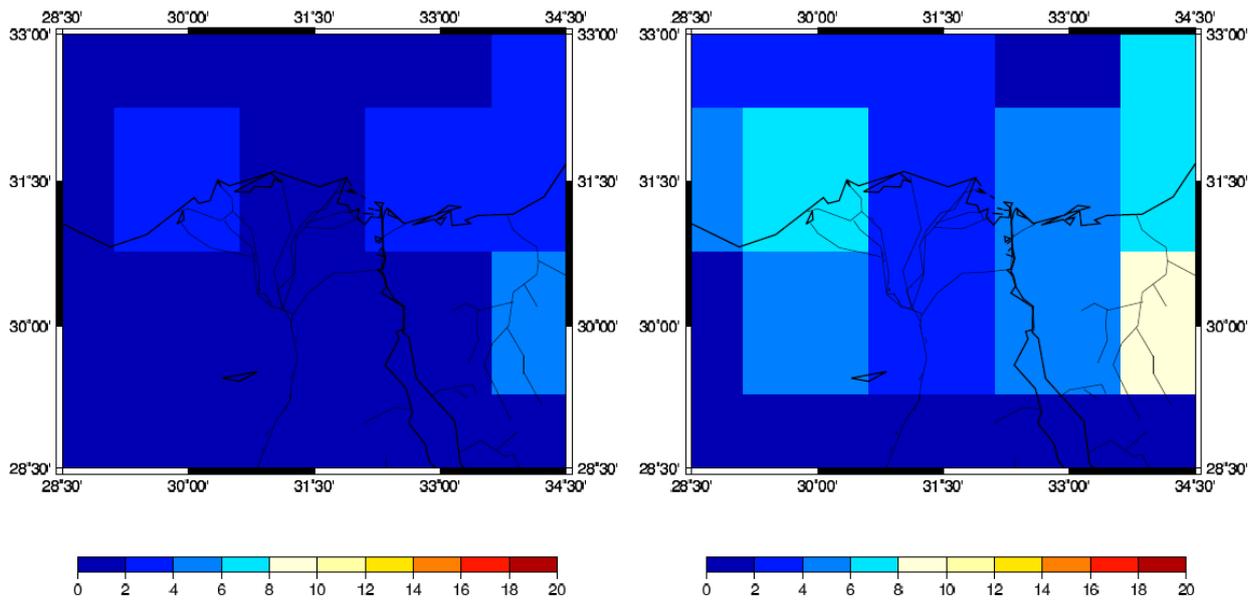


図 143 低層雲の分布 (2010 年 3 月平均, 900 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は mm/hour

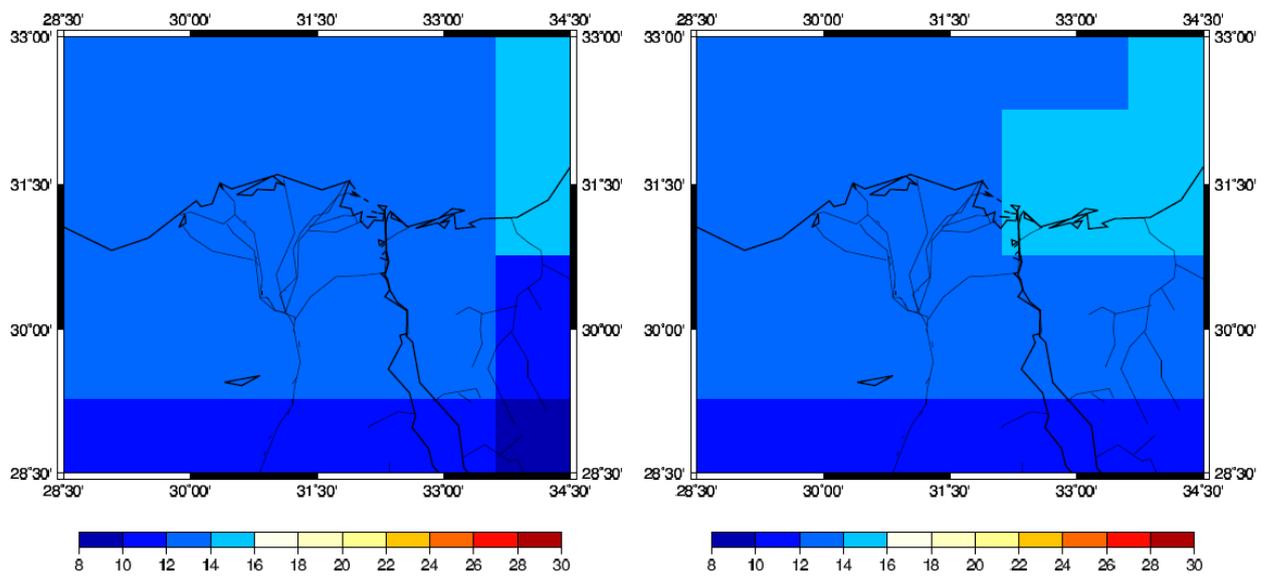
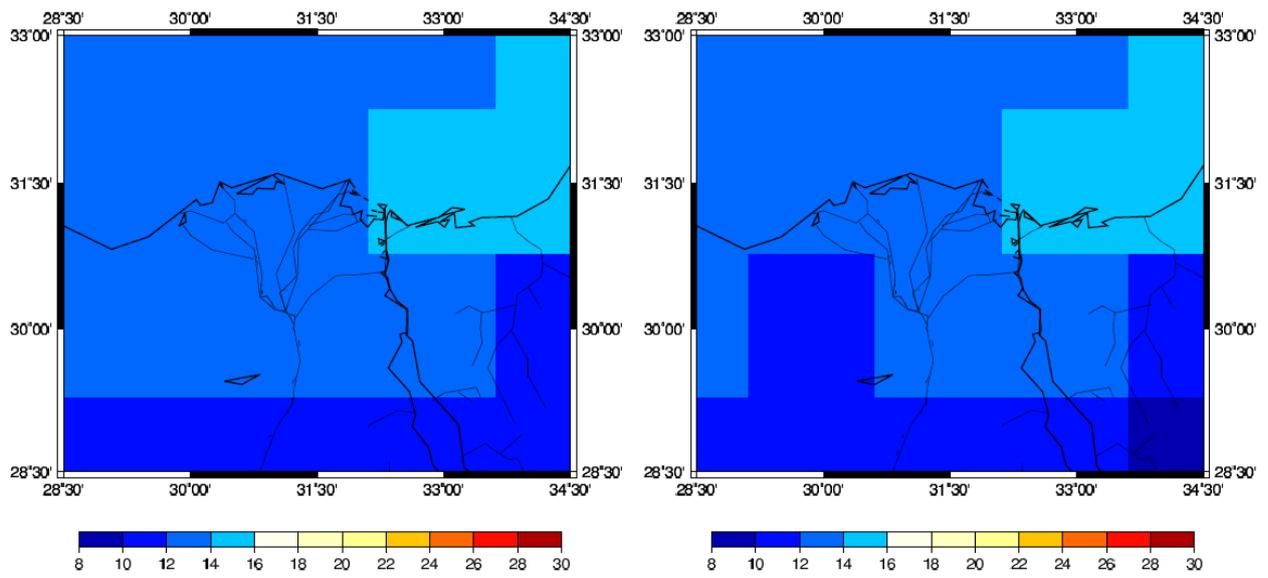


図 144 可降水量の分布図 (2010 年 3 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

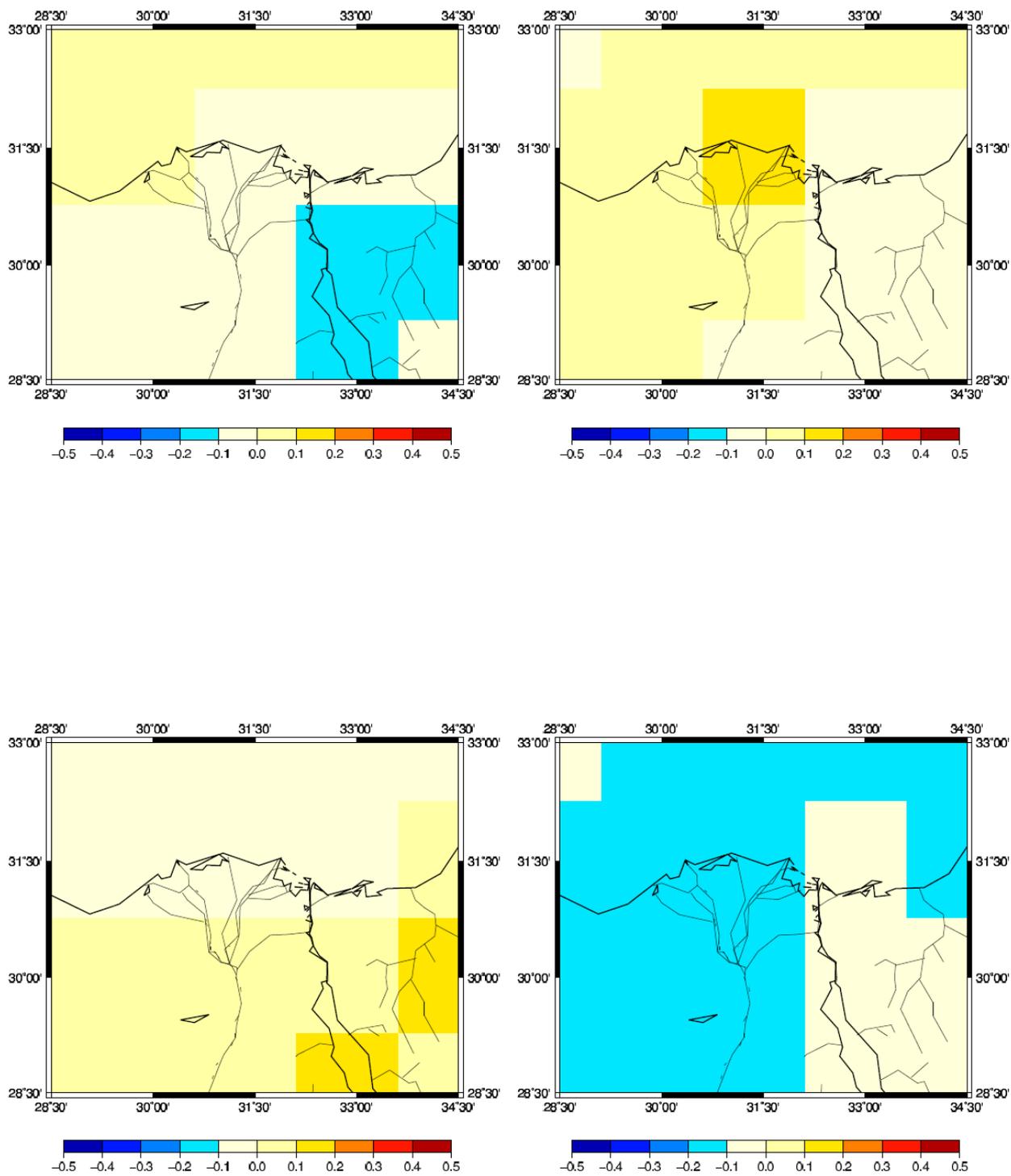


図 145 可降水量の時間変化分布図 (2010 年 3 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

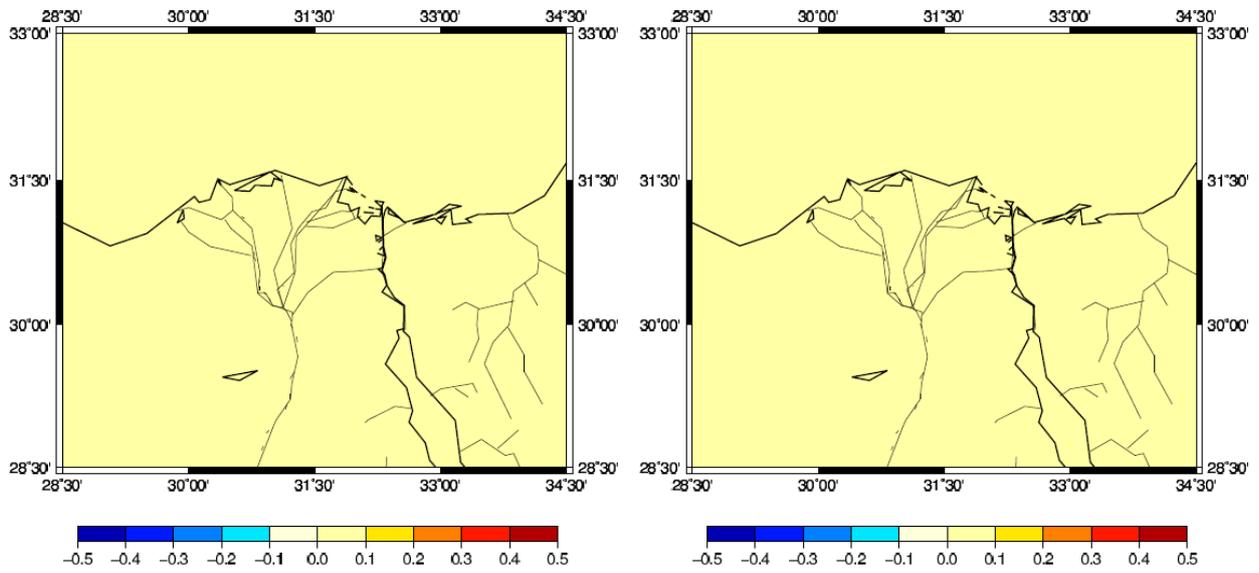
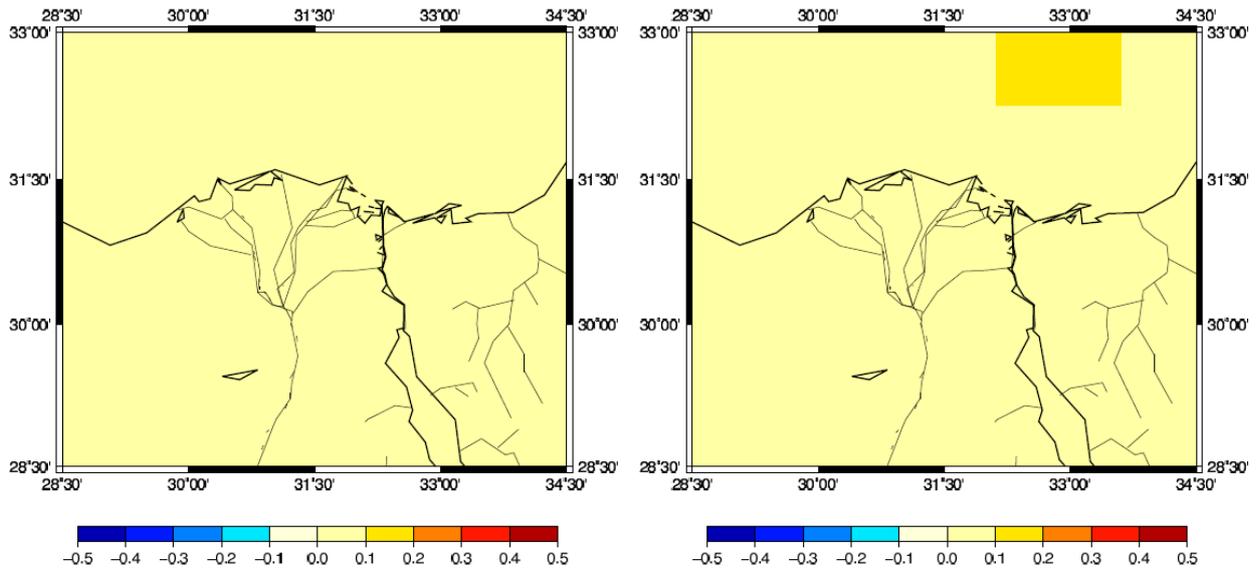


図 146 降水量の分布 (2010 年 3 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC ~ 当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC ~ 0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC ~ 1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC ~ 1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

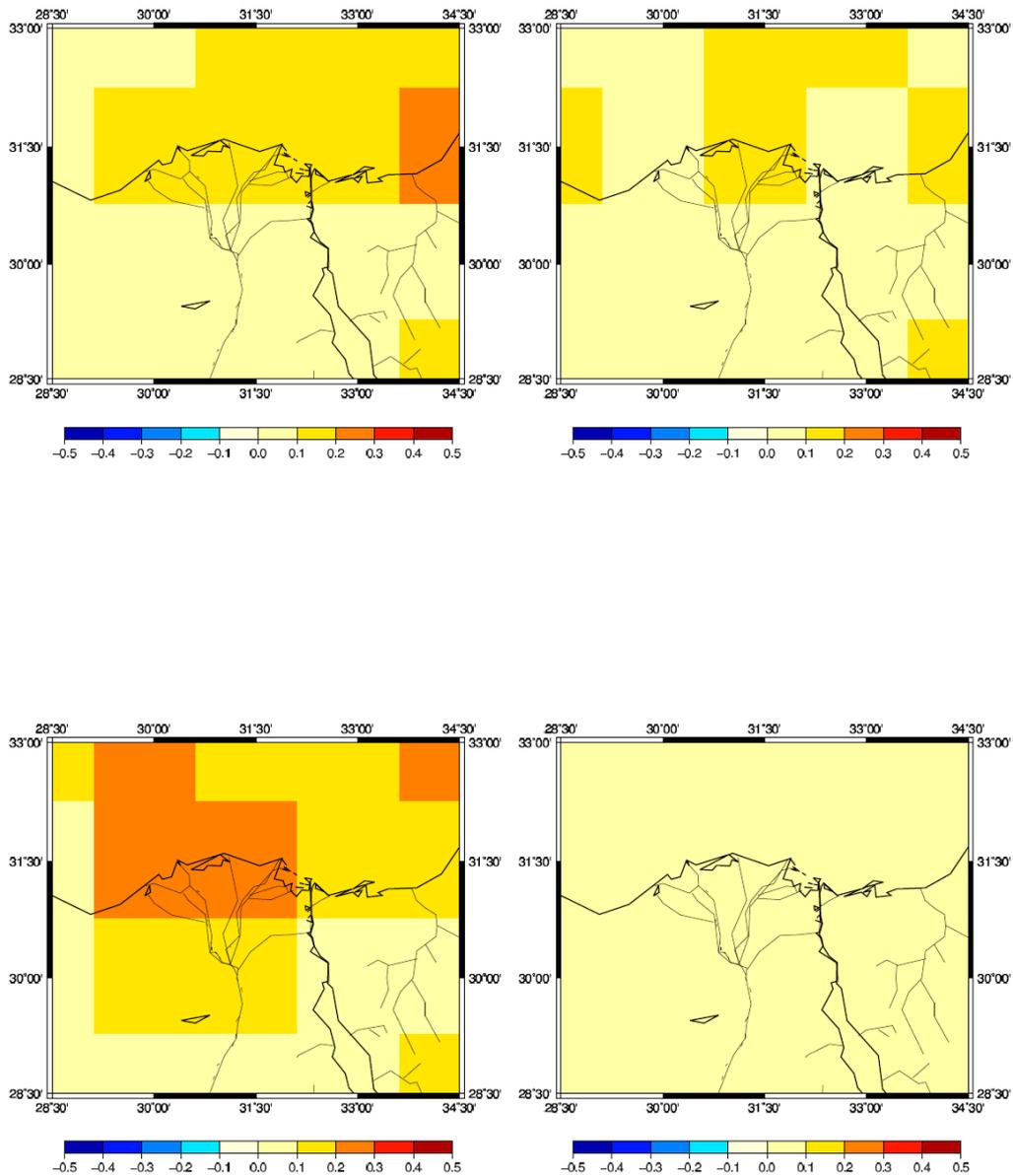


図 147 蒸発散量の分布 (2010 年 3 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

表 25 蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 3 月平均)

March	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.13	0.21	0.12
0600 UTC	0.01	0.14	-0.02
1200 UTC	-0.01	-0.09	0.19
1800 UTC	0.06	-0.02	0.15

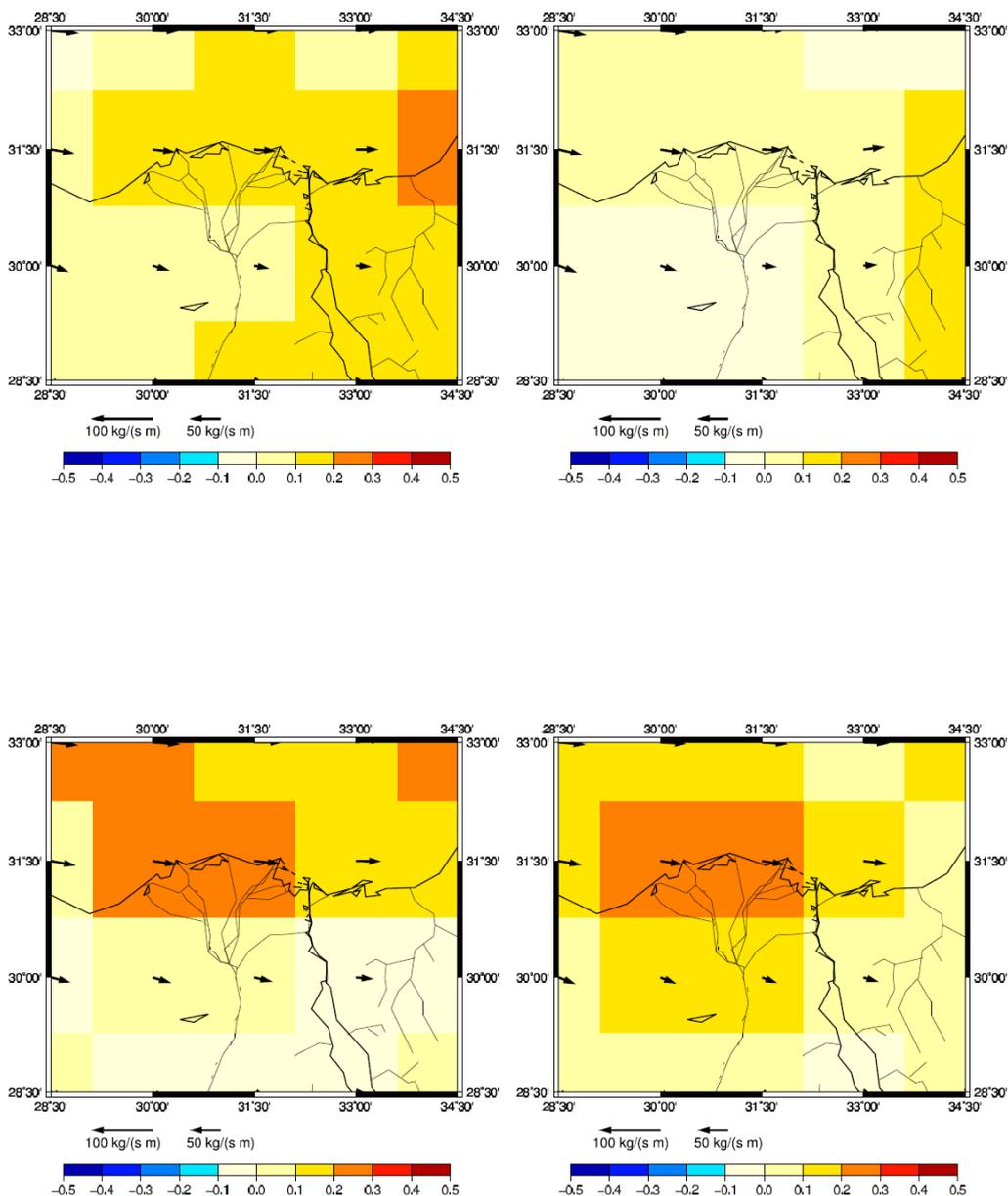


図 148 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 3 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す.

表 26 水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 3 月平均)

March	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.89	-0.68	-0.74
0600 UTC	-0.76	-0.72	-0.65
1200 UTC	-0.77	-0.64	-0.41
1800 UTC	-0.79	-0.83	-0.57

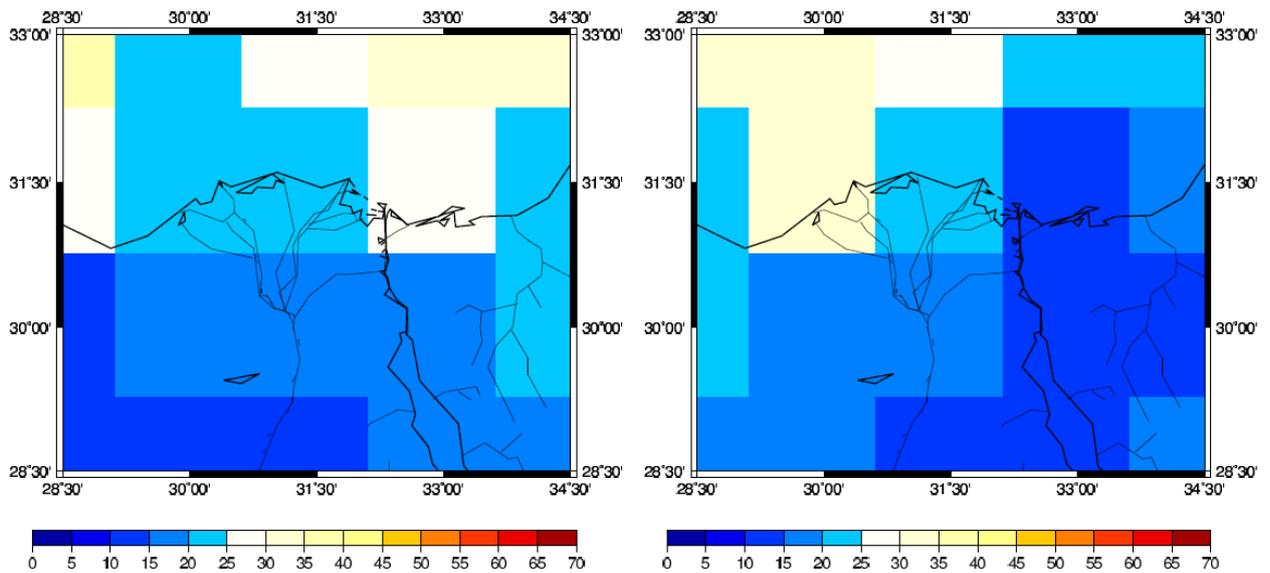
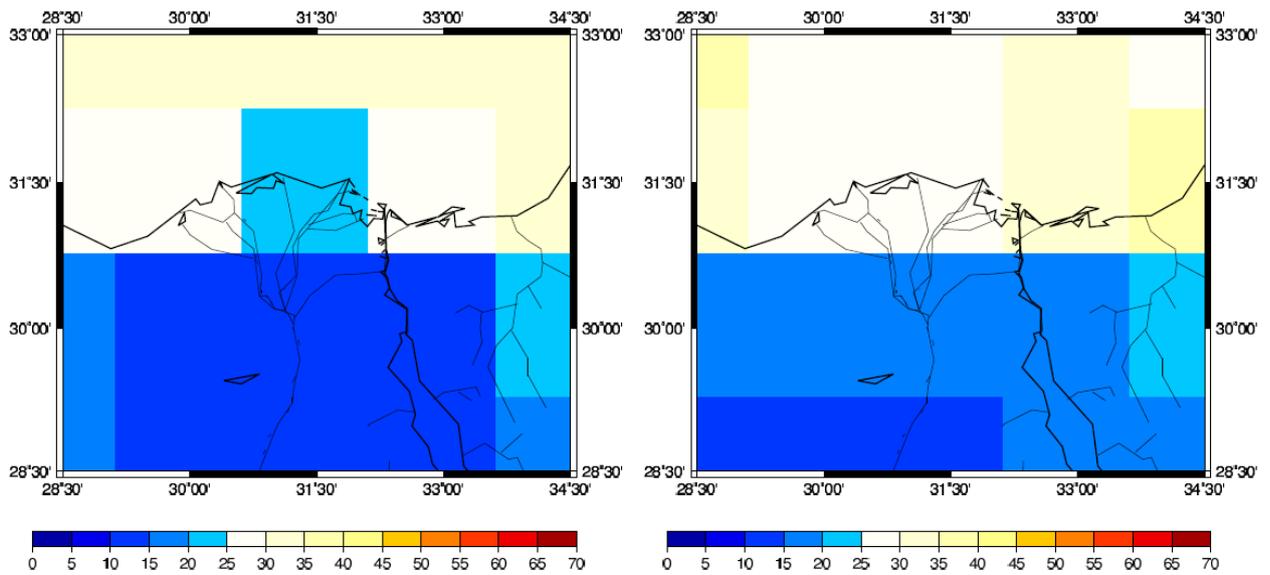


図 149 全雲量分布の分布 (2010 年 4 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

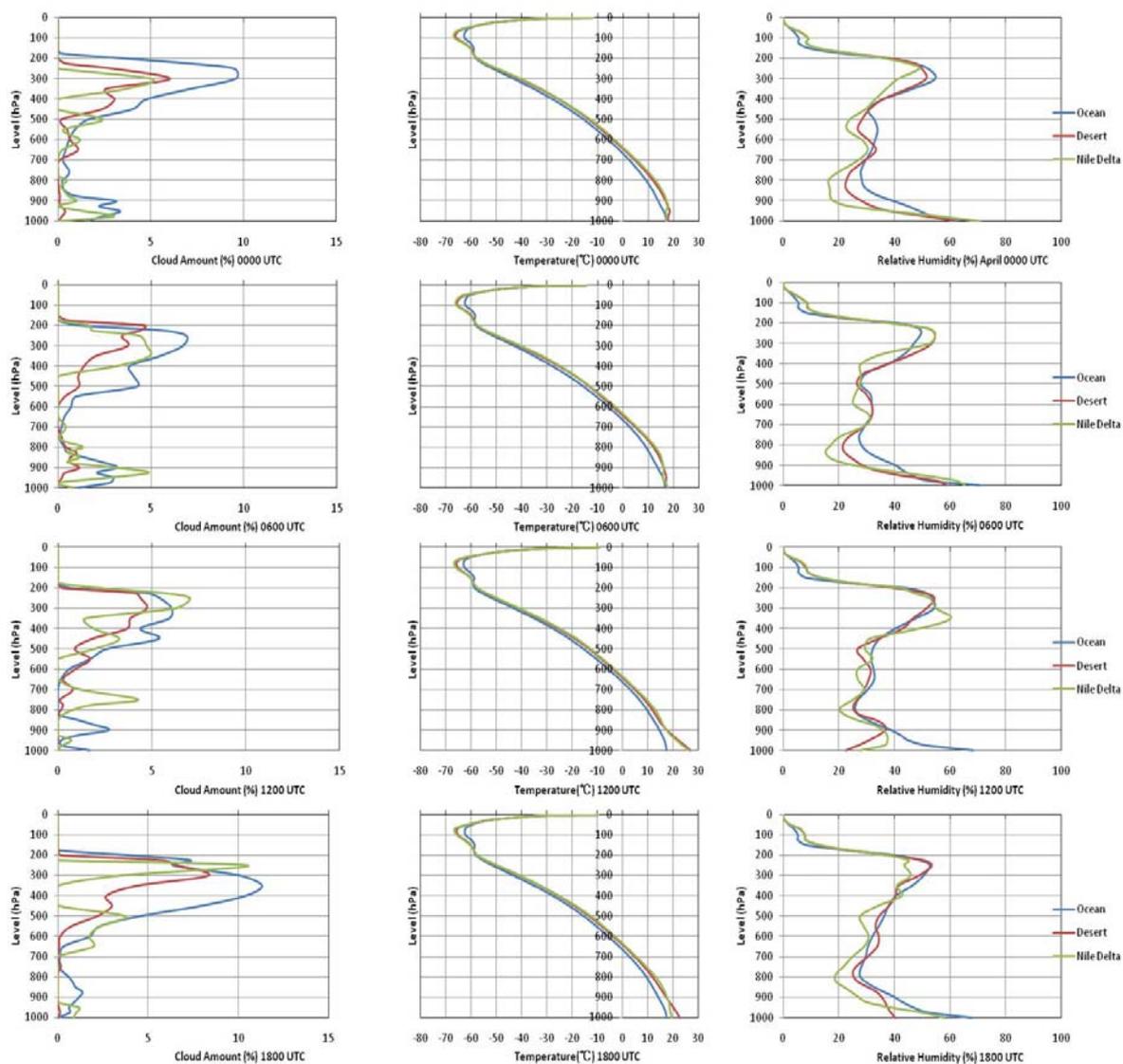


図 150 時間別気象要因高度分布 (2010 年 4 月平均)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 27 持ち上げ凝結高度 (2010 年 4 月平均, hPa)

Apr	ocean	desert	Nile Delta
0000 UTC	946	917	956
0600 UTC	930	891	931
1200 UTC	934	741	850
1800 UTC	943	832	917

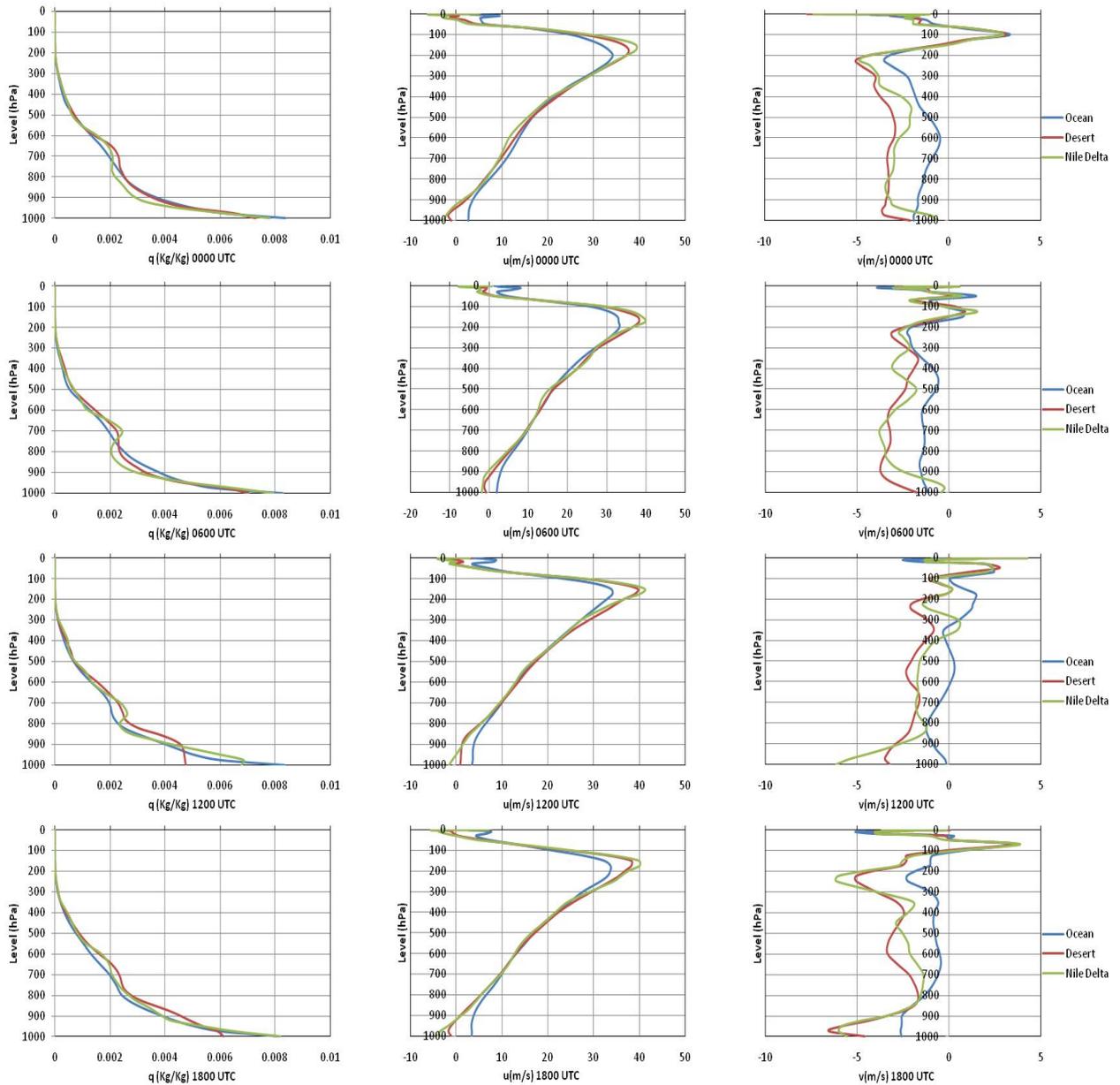


図 151 時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 4 月平均)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

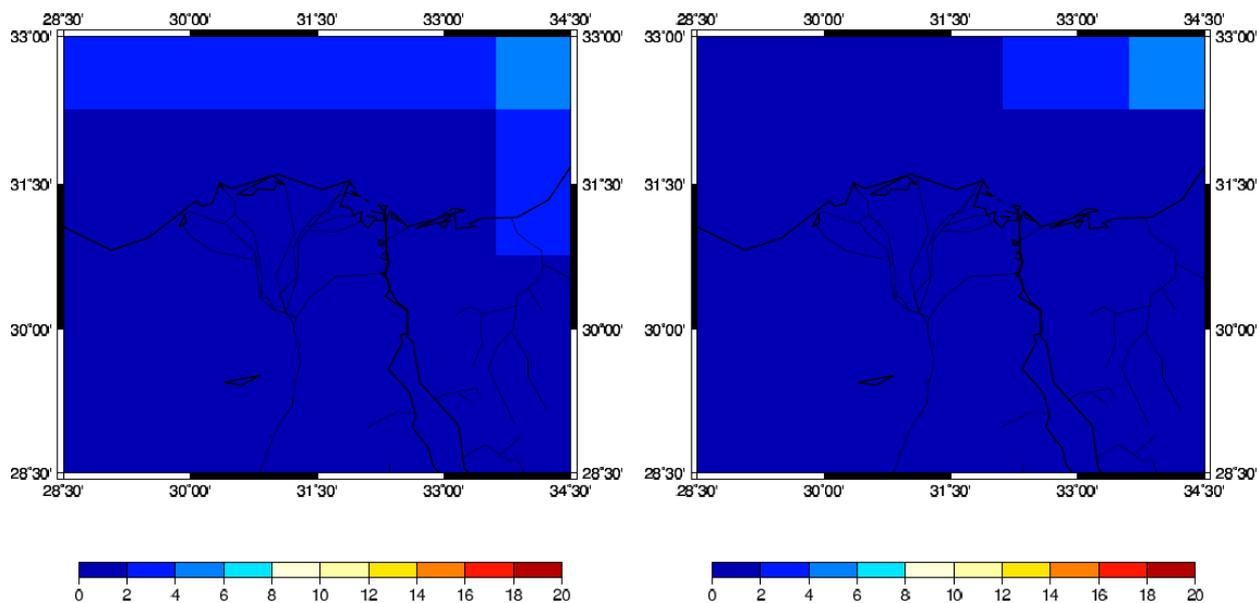
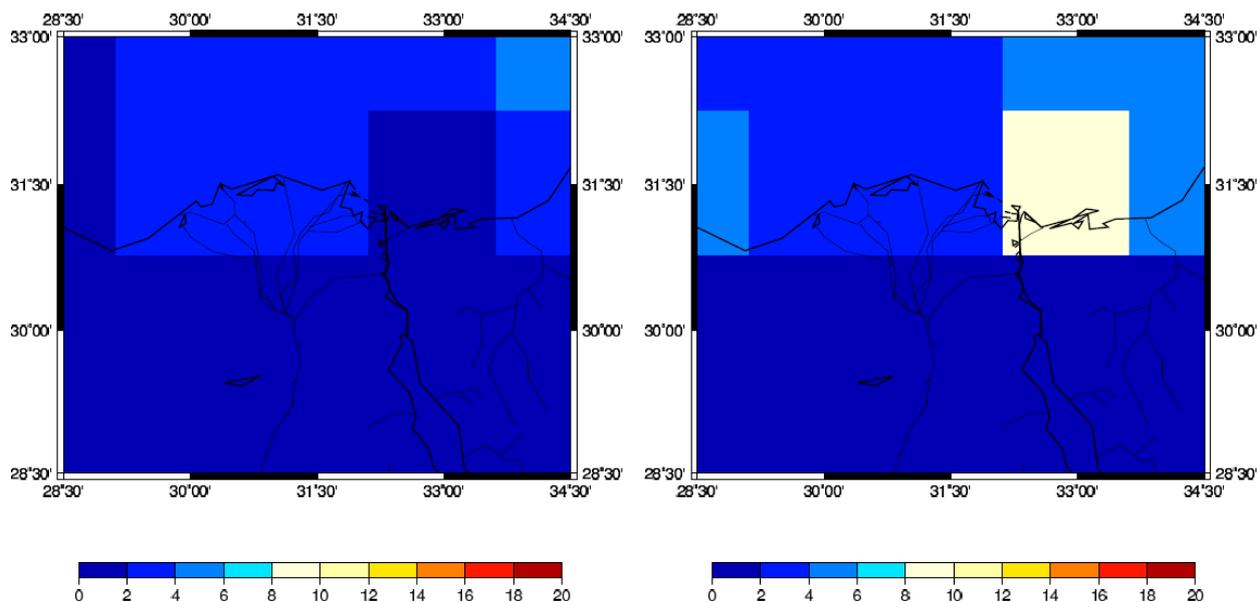


図 152 低層雲の分布図 (2010 年 4 月平均, 900 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

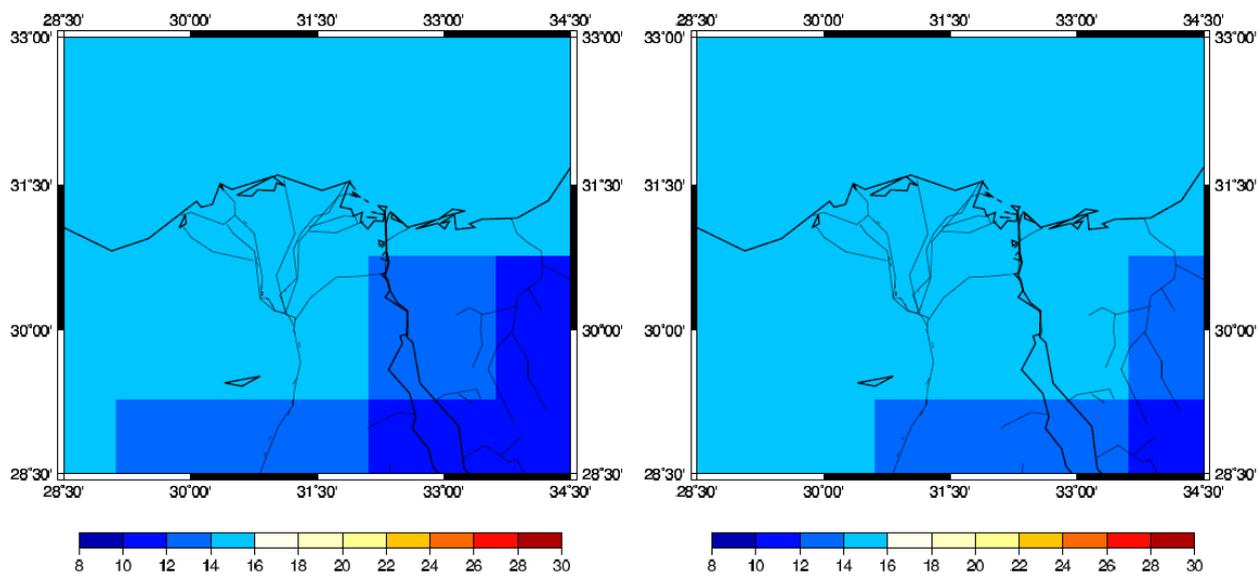
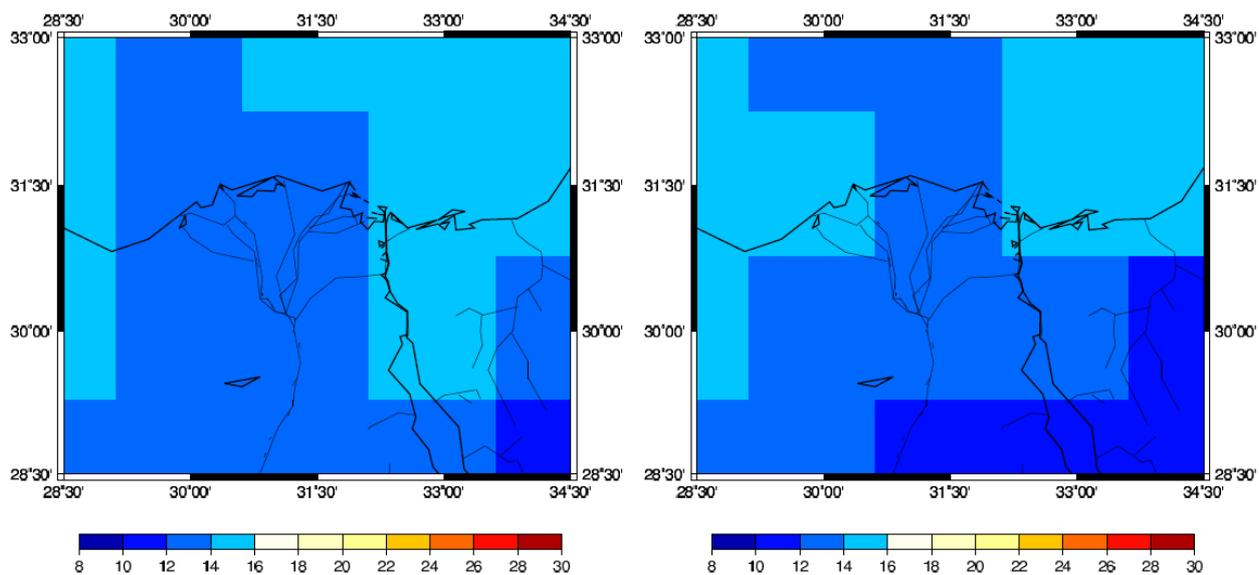


図 153 可降水量の分布図 (2010 年 4 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

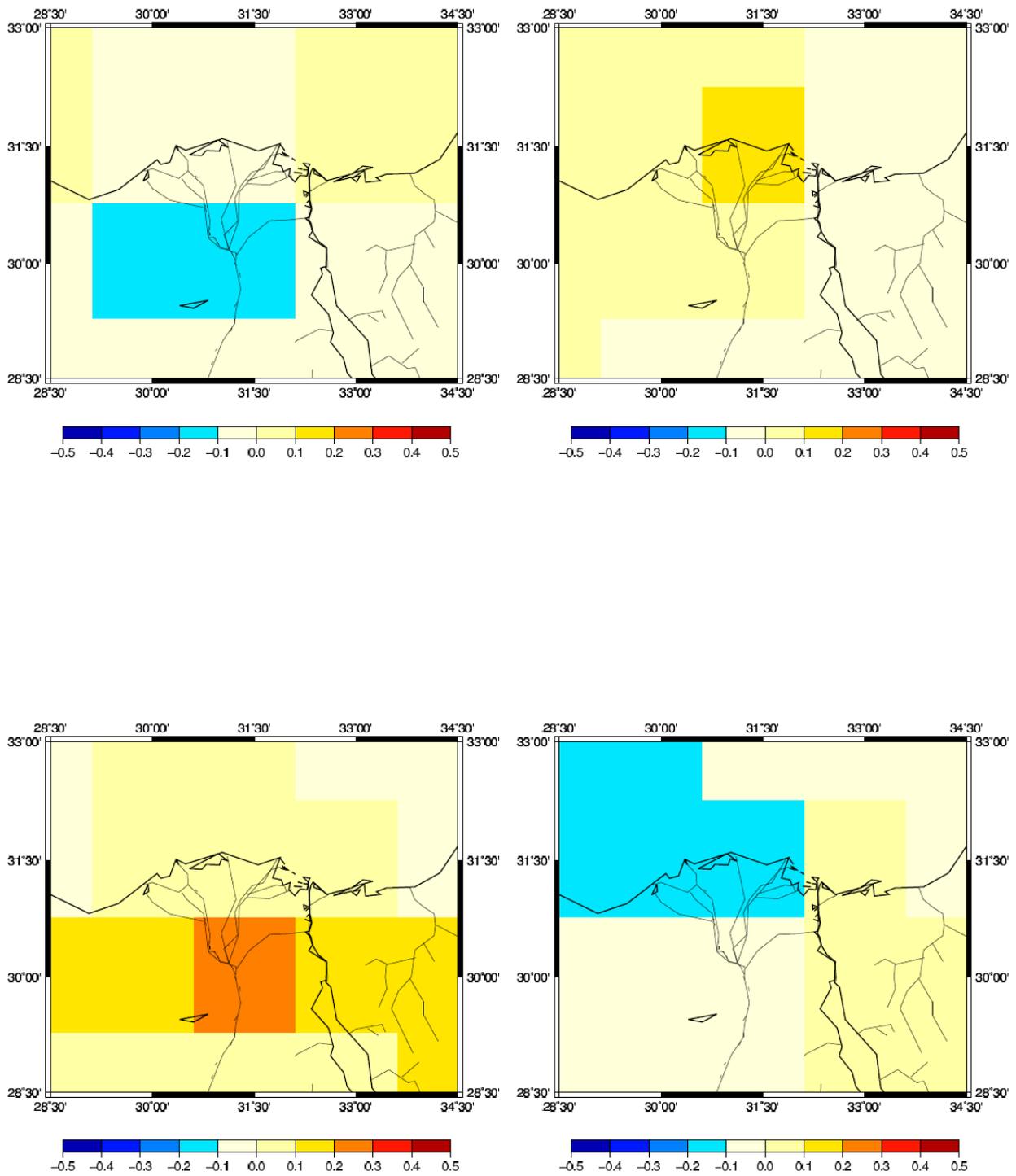


図 154 可降水量の時間変化分布図 (2010 年 4 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

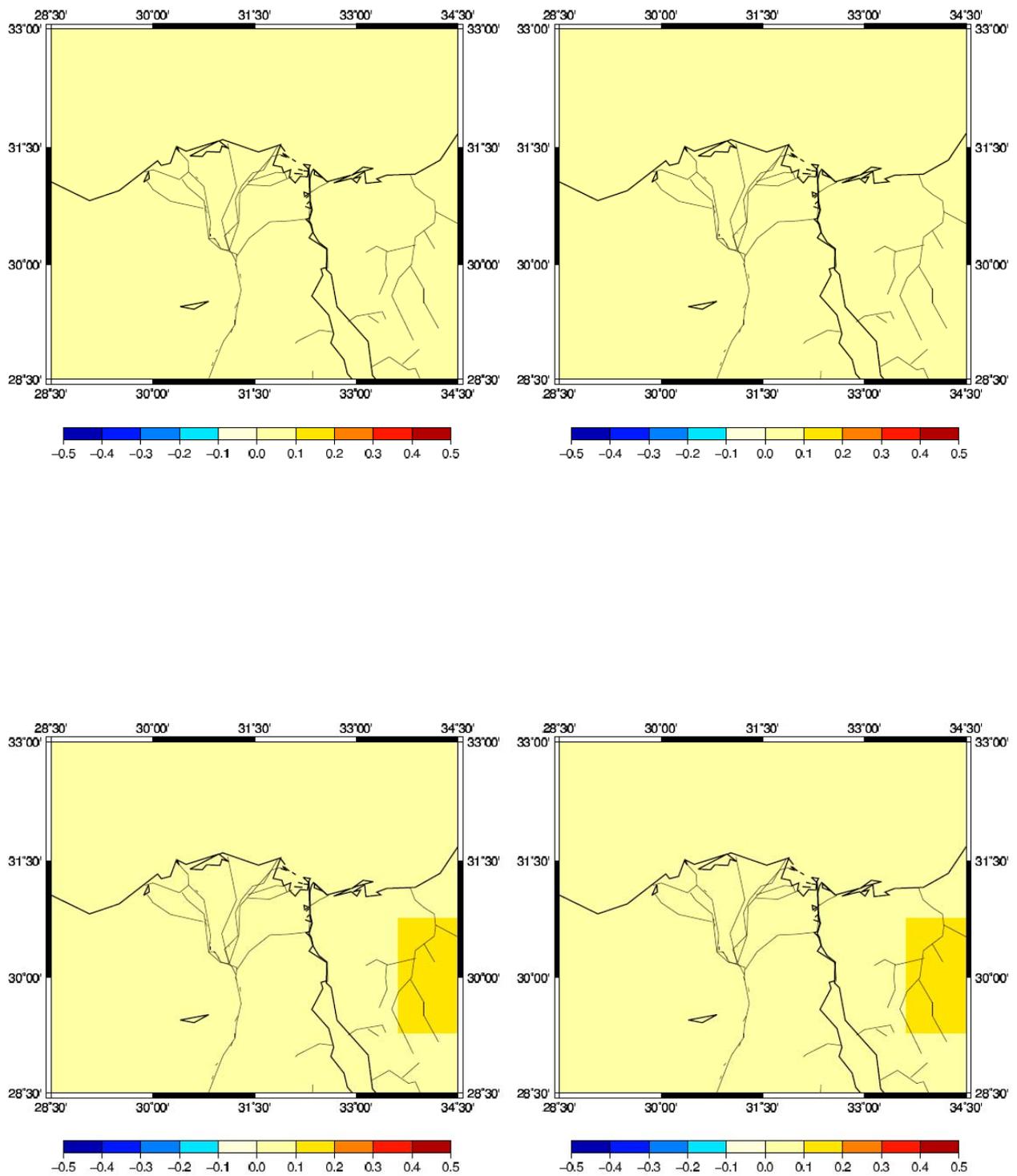


図 155 降水量の分布 (2010 年 4 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~当日の 0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

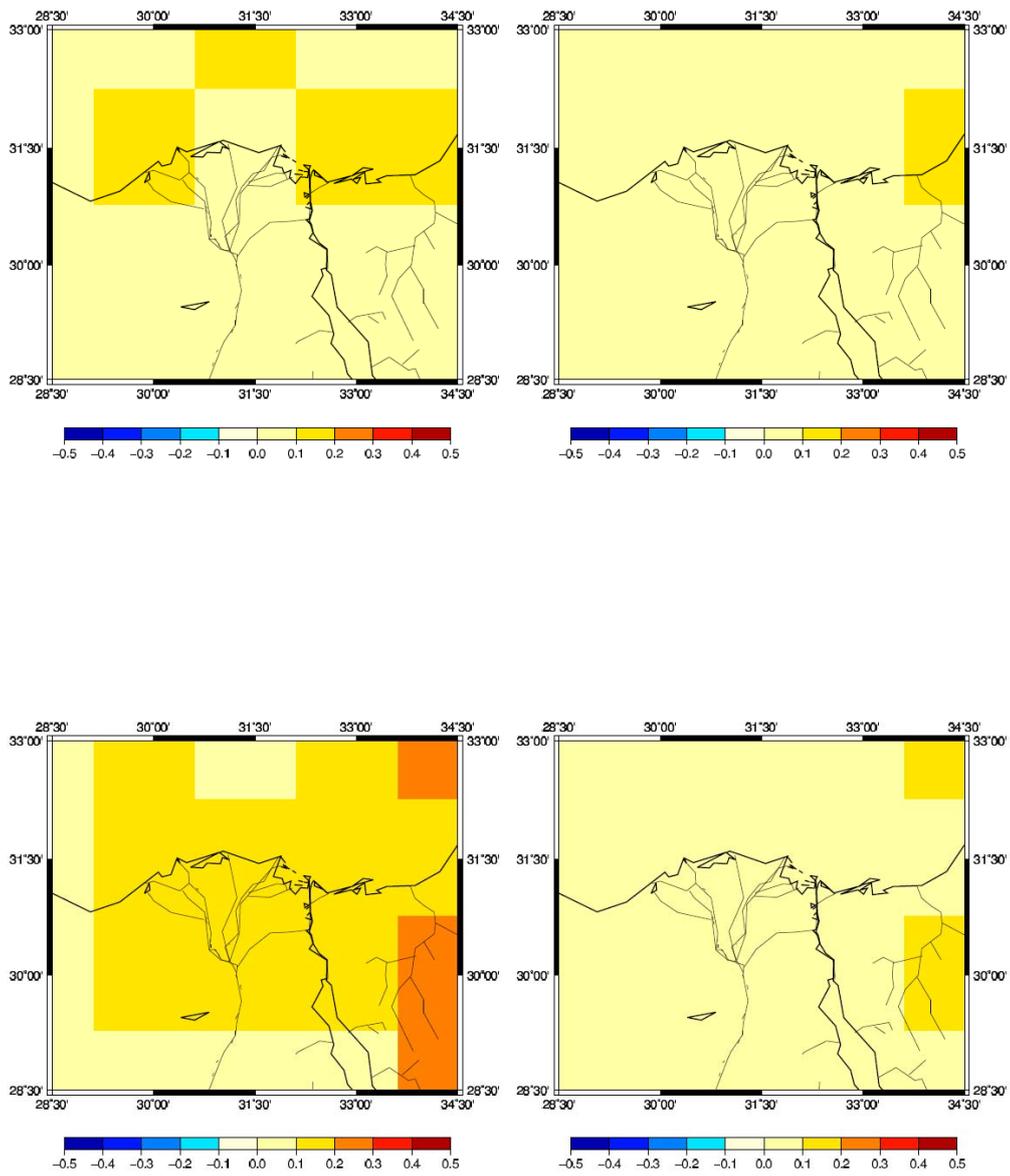


図 156 蒸発散量の分布 (2010 年 4 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

表 28 蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 4 月平均)

April	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.32	0.18	0.29
0600 UTC	-0.04	-0.39	0.04
1200 UTC	-0.01	-0.06	-0.06
1800 UTC	-0.13	-0.27	0.06

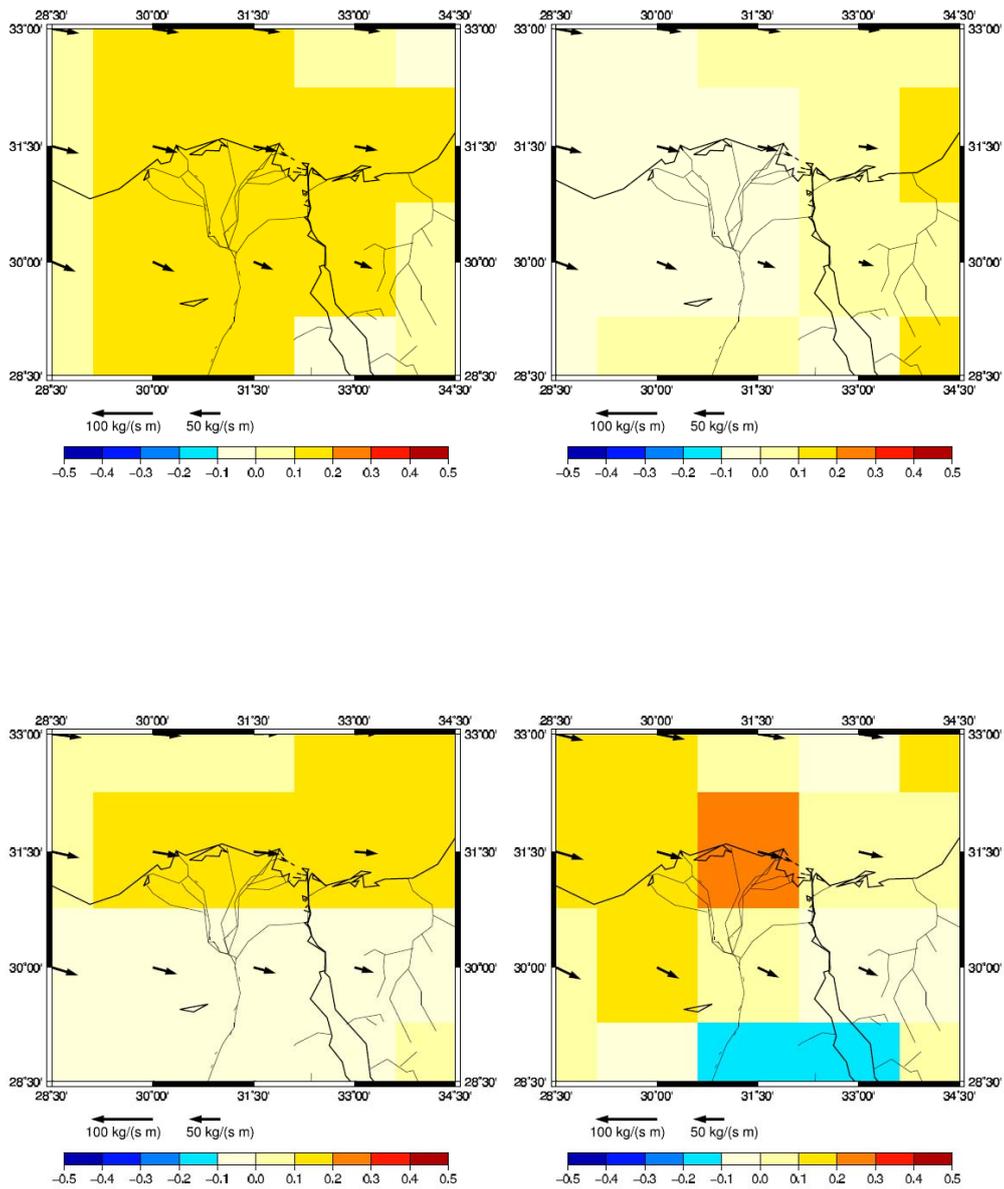


図 157 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010年4月平均)

左上：0000 UTC 右上：0600 UTC 左下：1200 UTC 右下：1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour)を表す。

表 29 水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010年4月平均)

April	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.90	-0.60	-0.55
0600 UTC	-0.81	-0.93	-0.64
1200 UTC	-0.81	-0.84	-0.87
1800 UTC	-0.81	-0.91	-0.80

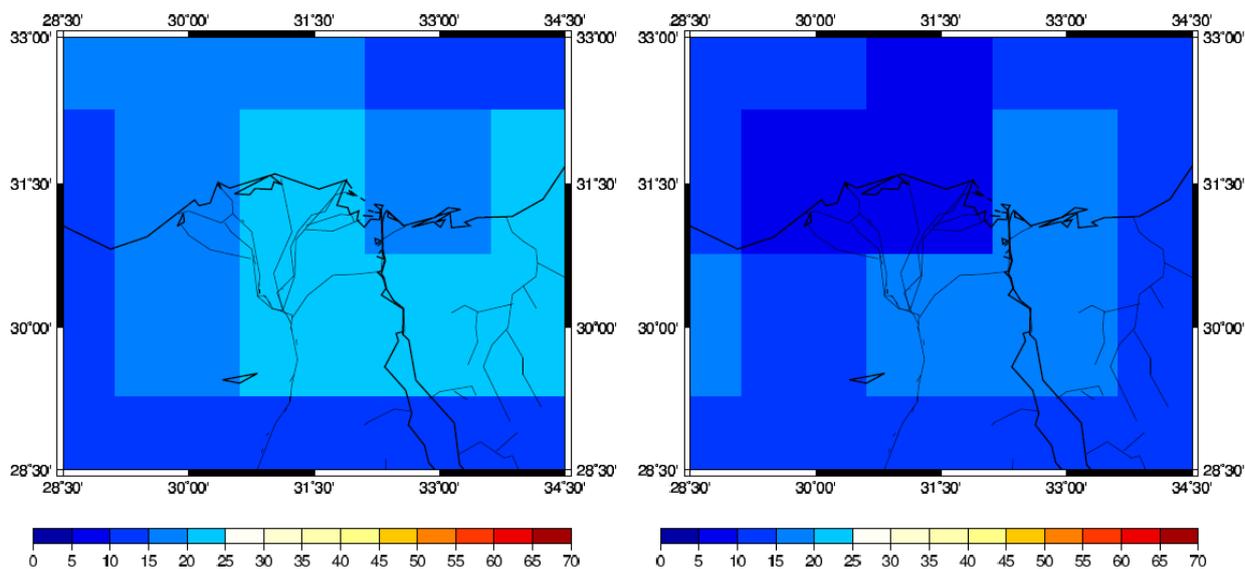
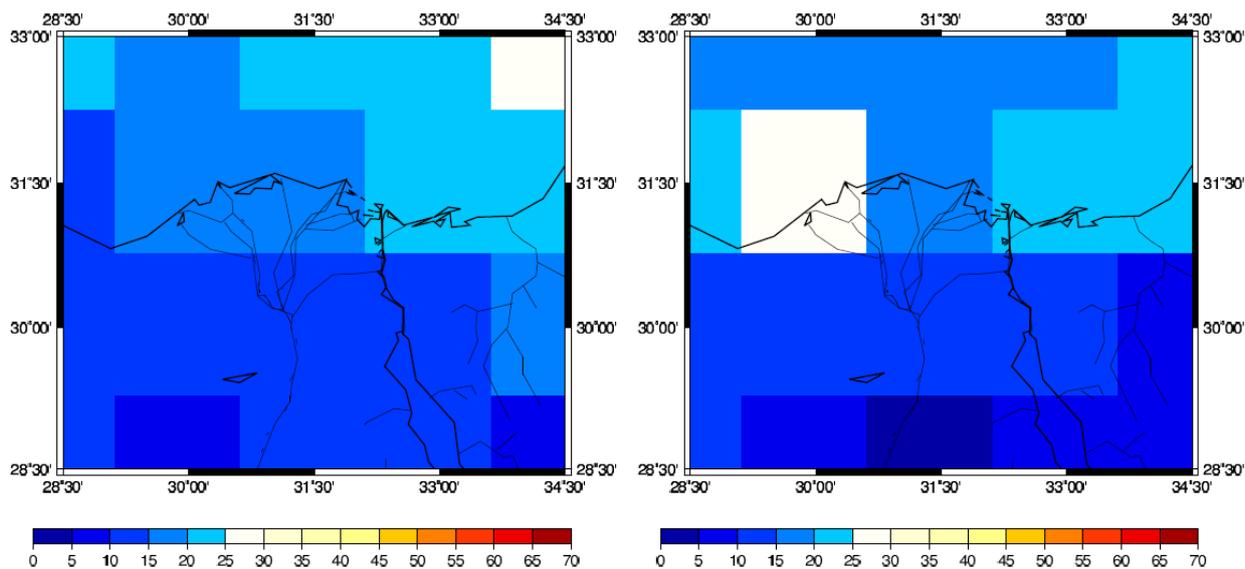


図 158 全雲量分布の分布 (2010 年 5 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

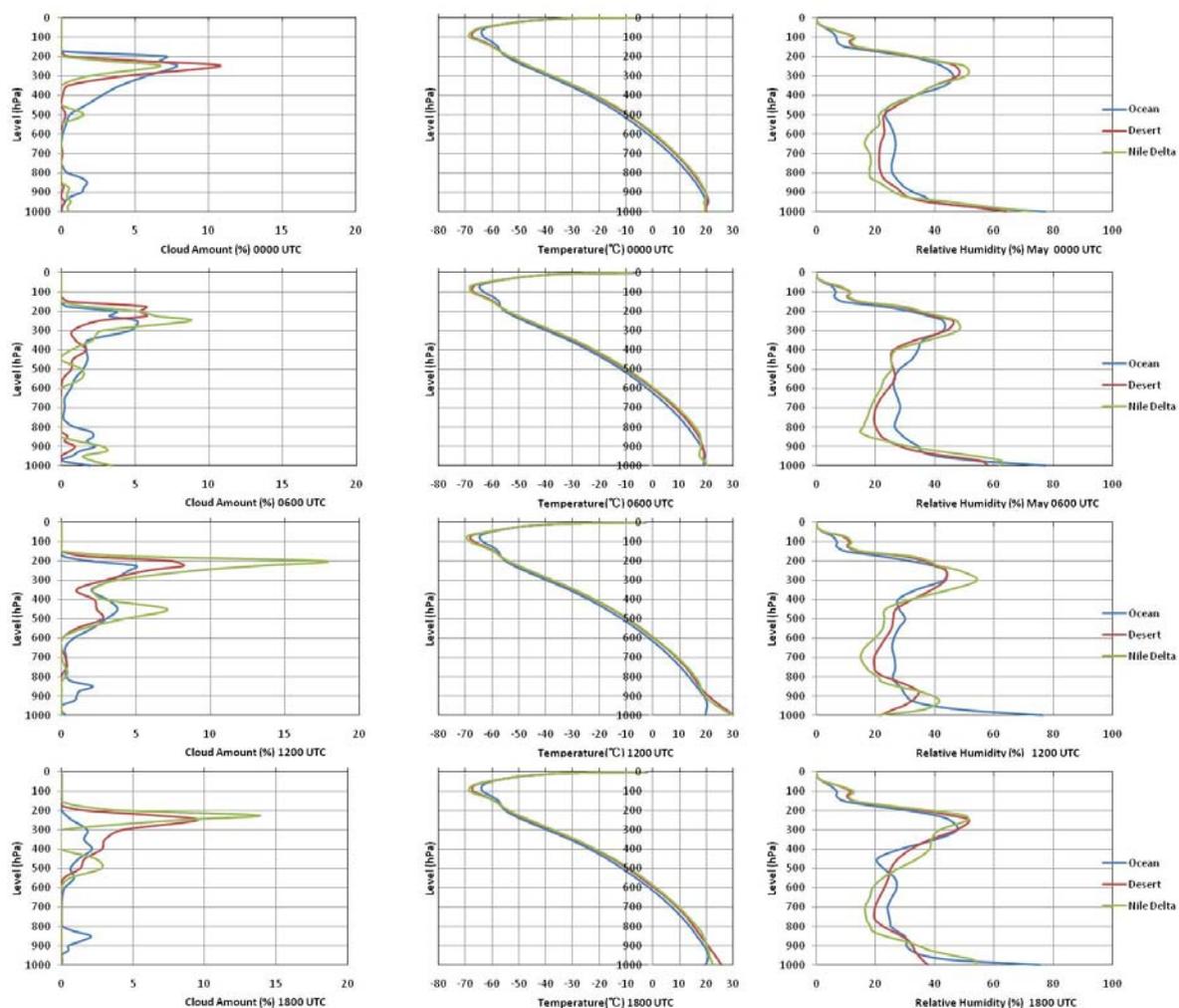


図 159 時間別気象要因高度分布 (2010 年 5 月平均)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 30 持ち上げ凝結高度 (2010 年 5 月平均, hPa)

May	ocean	desert	Nile Delta
0000 UTC	952	920	948
0600 UTC	938	886	921
1200 UTC	942	731	841
1800 UTC	949	817	920

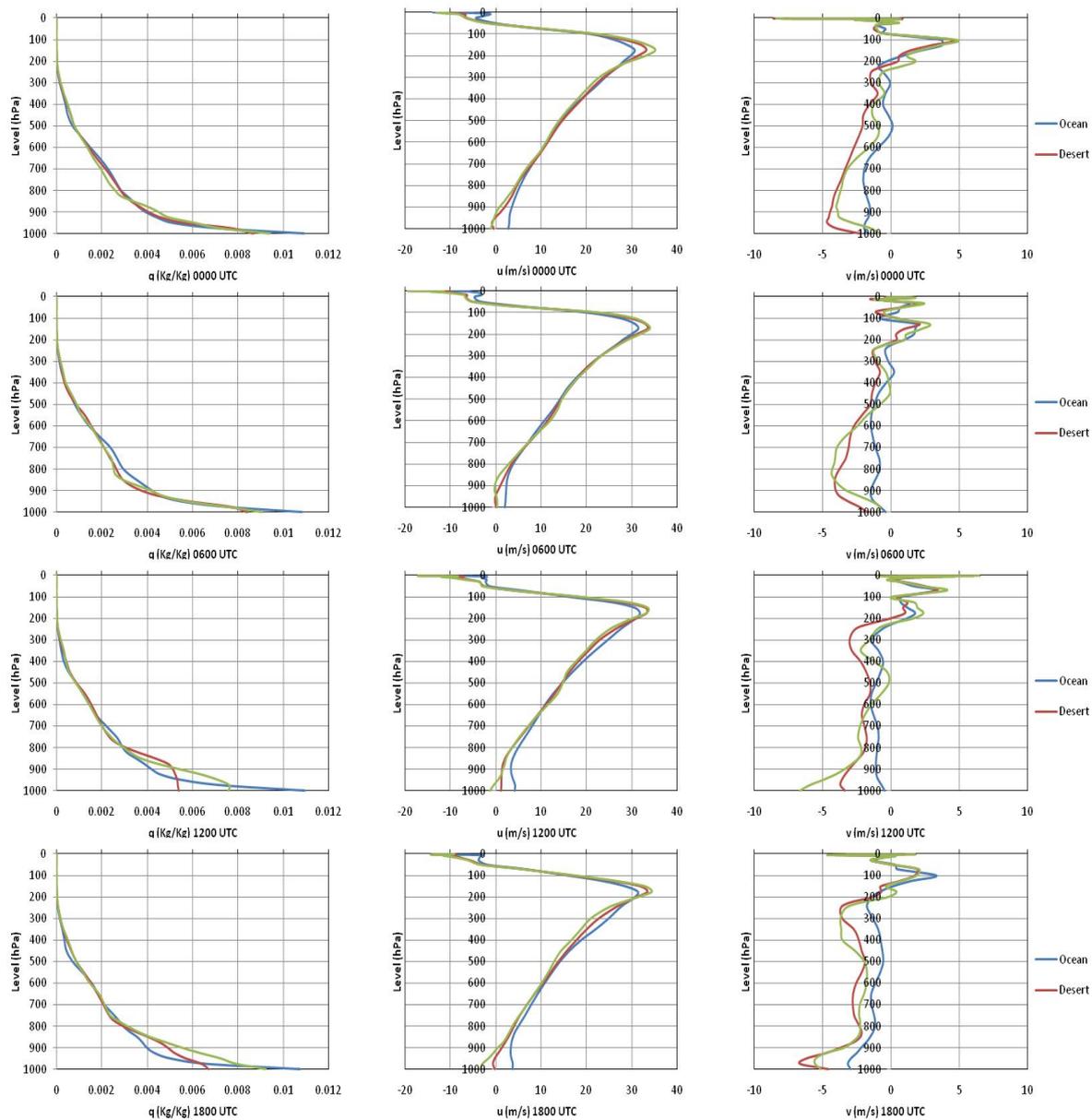


図 160 時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 5 月平均)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

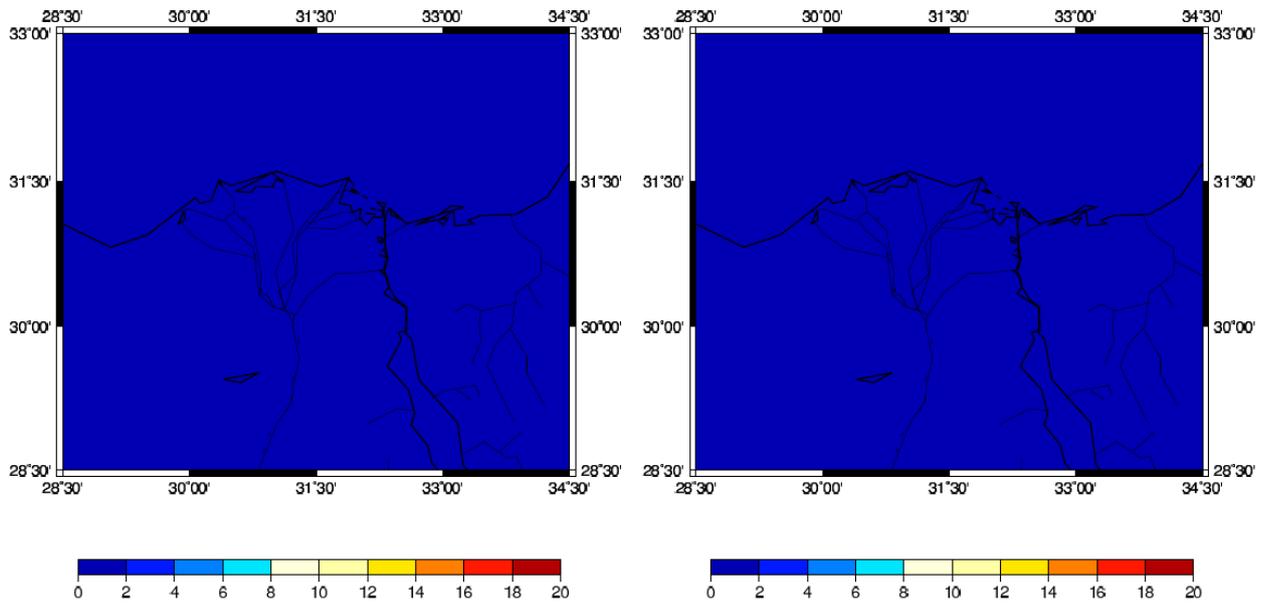
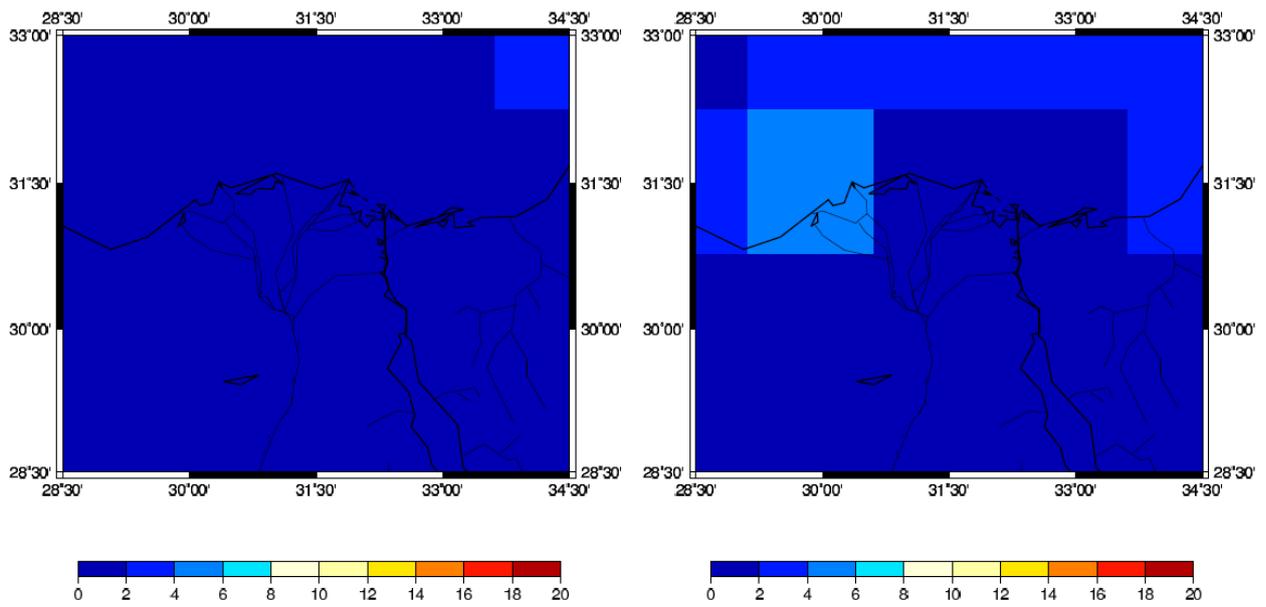


図 161 低層雲分布 (2010 年 5 月平均, 900 hPa)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

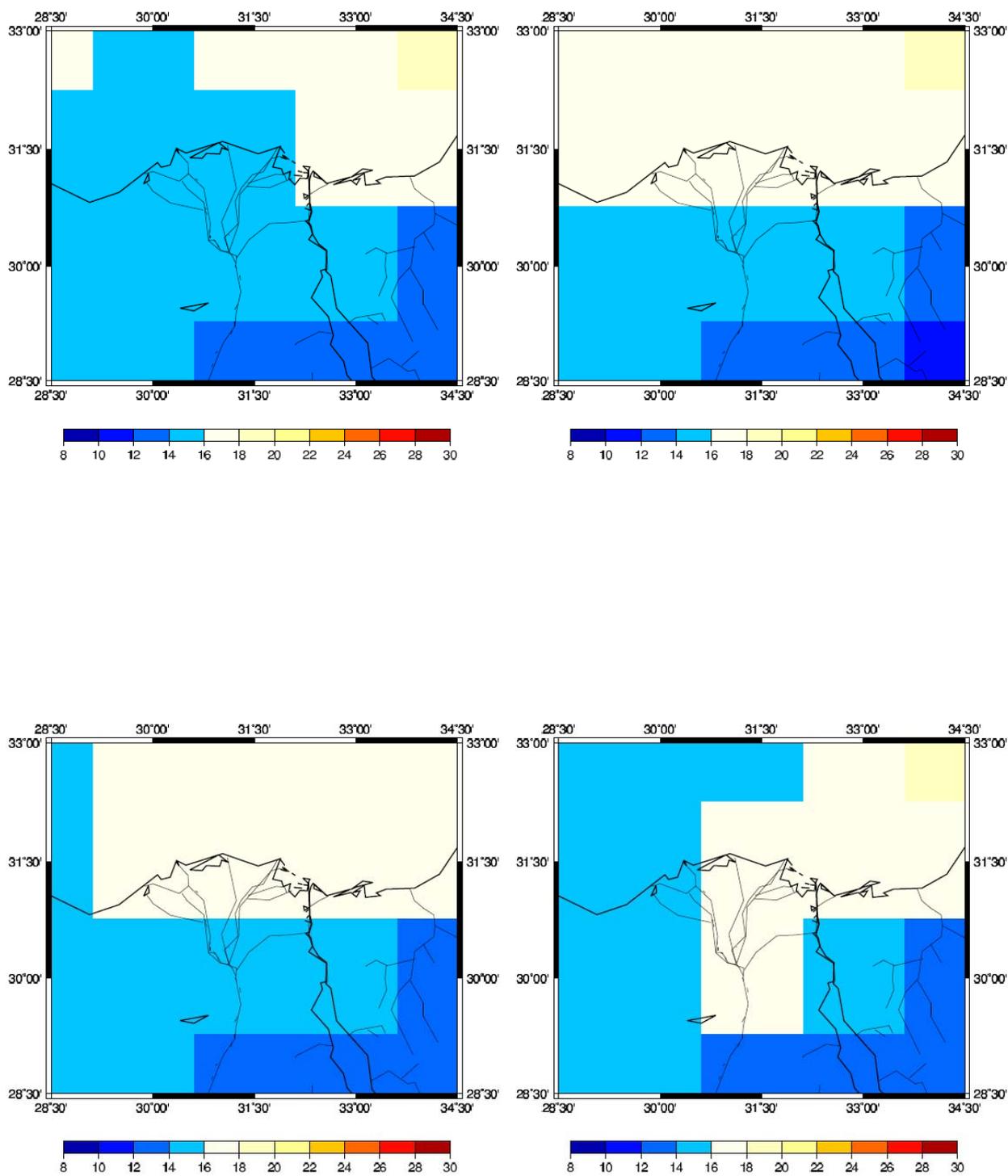


図 162 可降水量の分布図 (2010 年 5 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

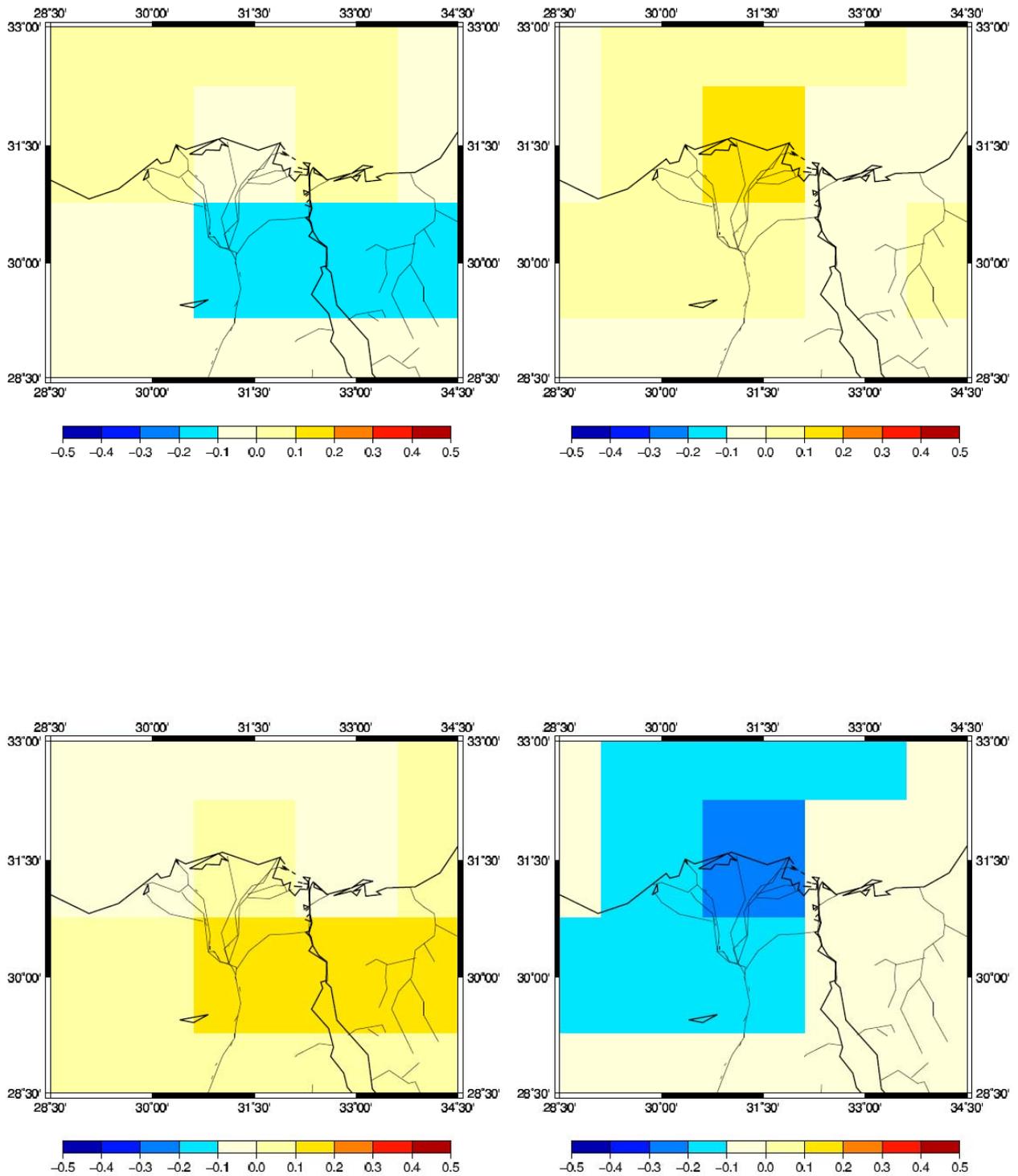


図 163 可降水量の時間変化分布図 (2010 年 5 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

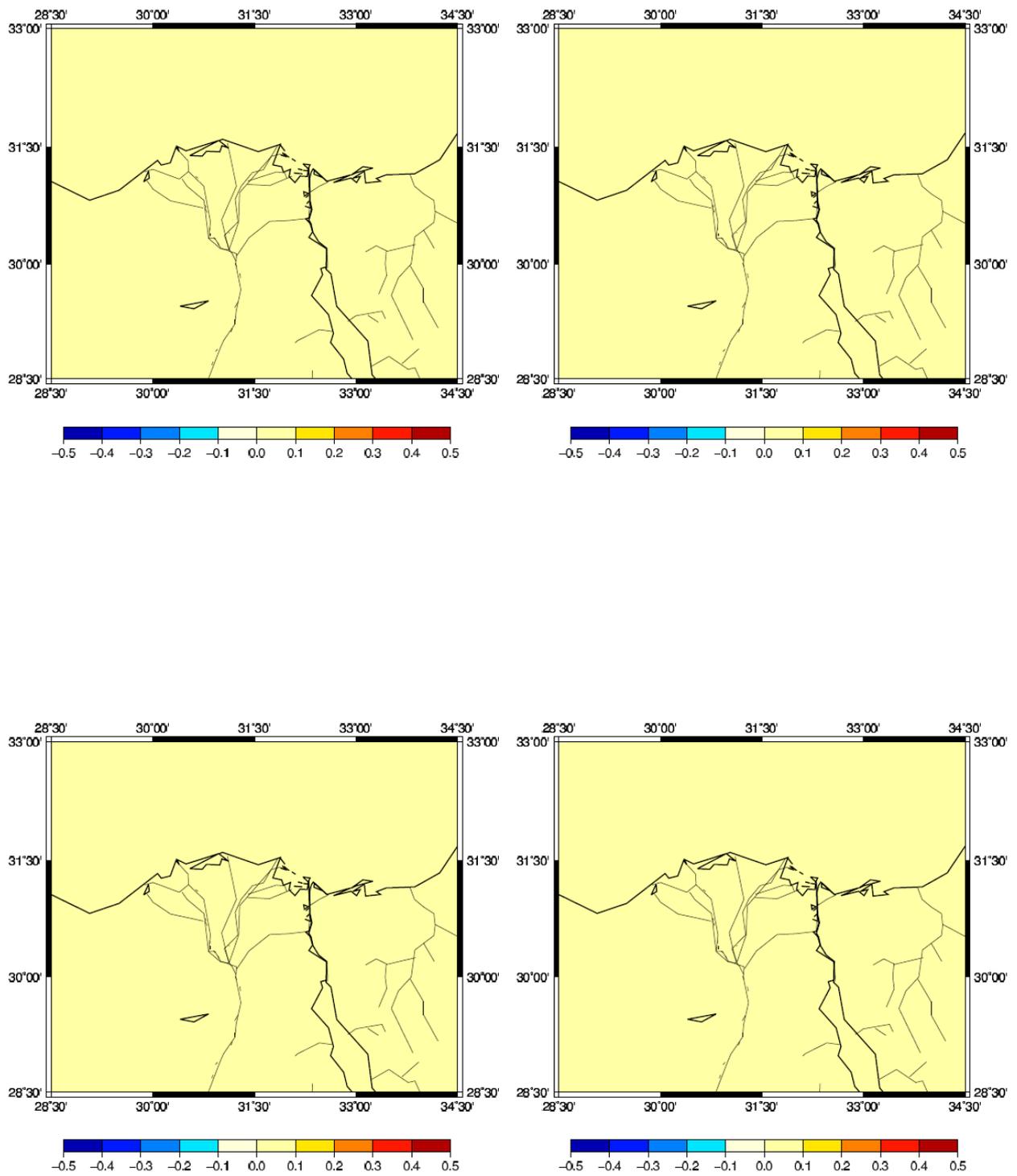


図 164 降水量の分布 (2010 年 5 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

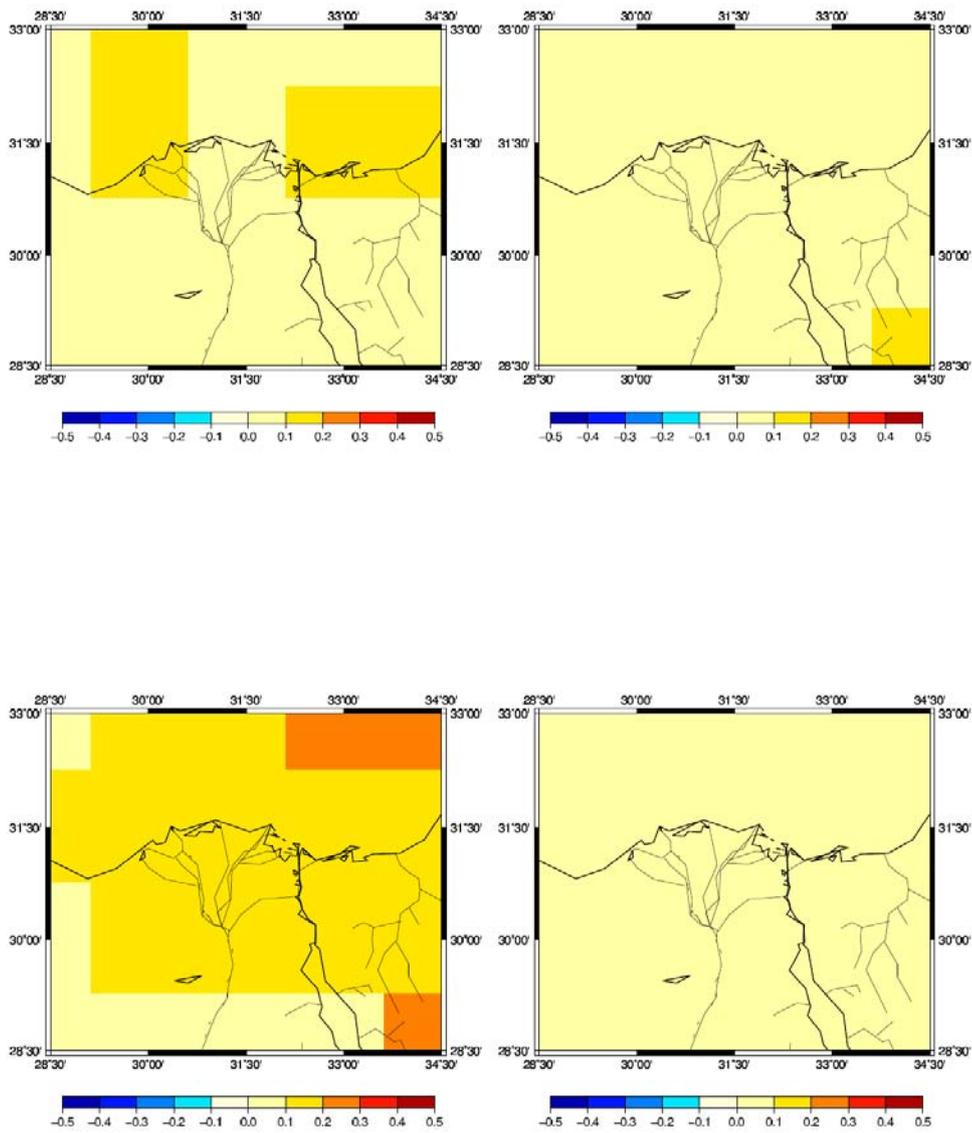


図 165 蒸発散量の分布 (2010 年 5 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

表 31 蒸発散量の可降水量の時間変化への寄与率 (2010 年 5 月平均)

May	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.01	0.19	0.51
0600 UTC	-0.16	0.45	0.25
1200 UTC	-0.14	-0.15	0.25
1800 UTC	0.06	-0.36	-0.34

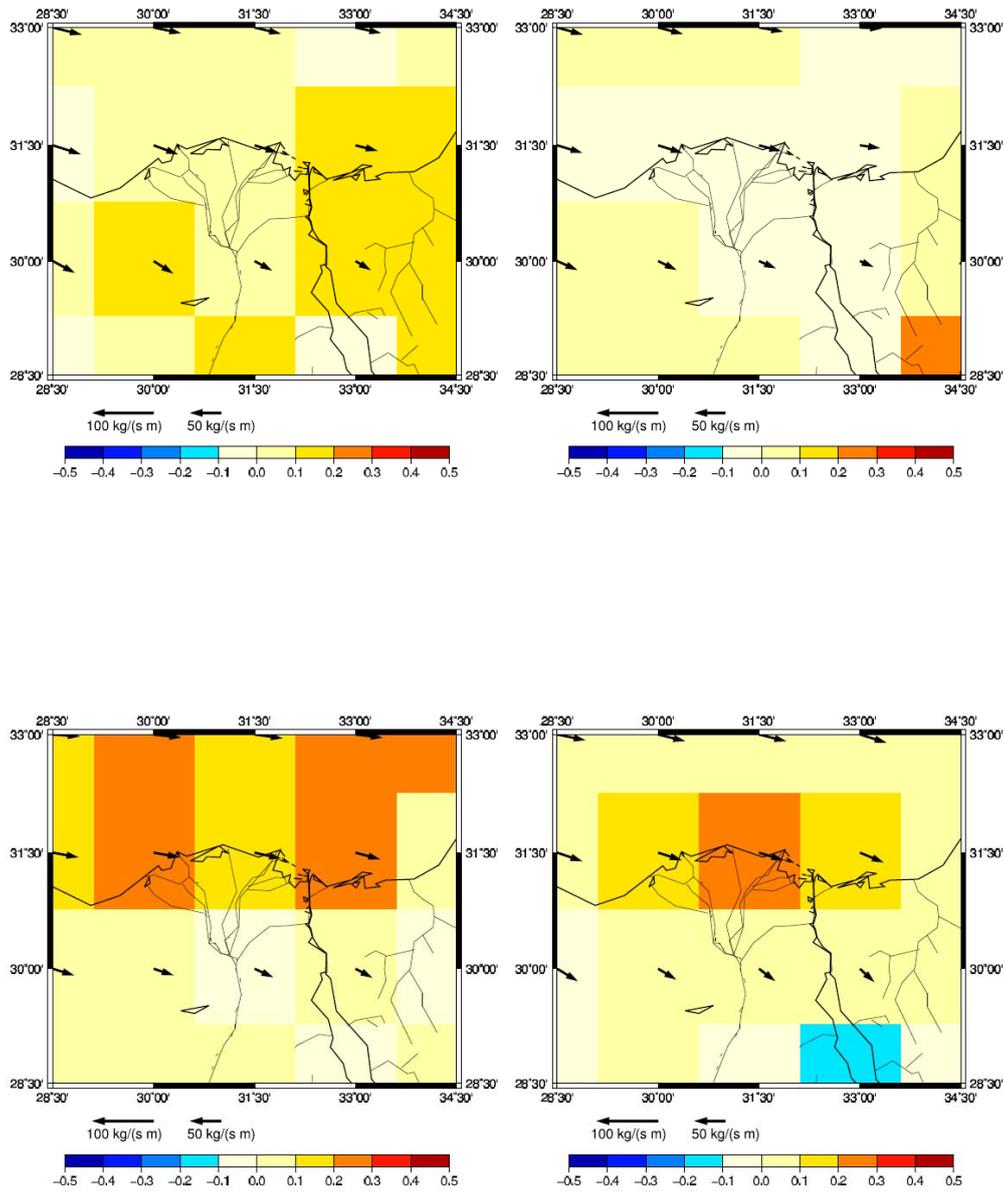


図 166 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010年5月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す。

表 32 水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010年5月平均)

May	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.77	-0.70	-0.50
0600 UTC	-0.83	-0.77	-0.6
1200 UTC	-0.65	-0.85	-0.54
1800 UTC	-0.75	-0.81	-0.78

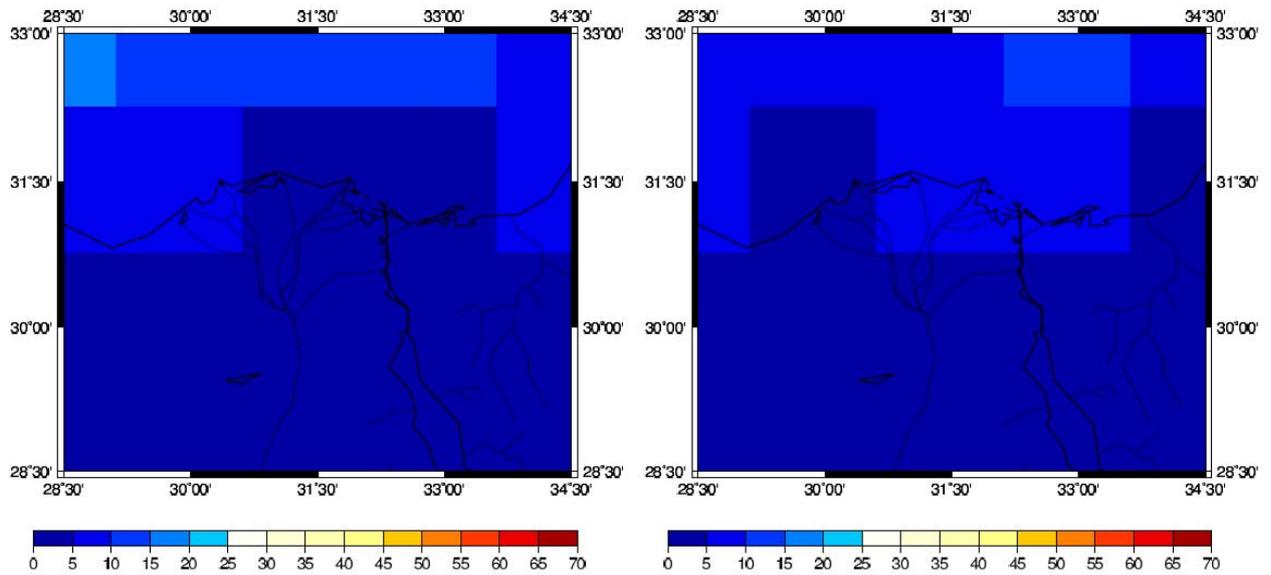
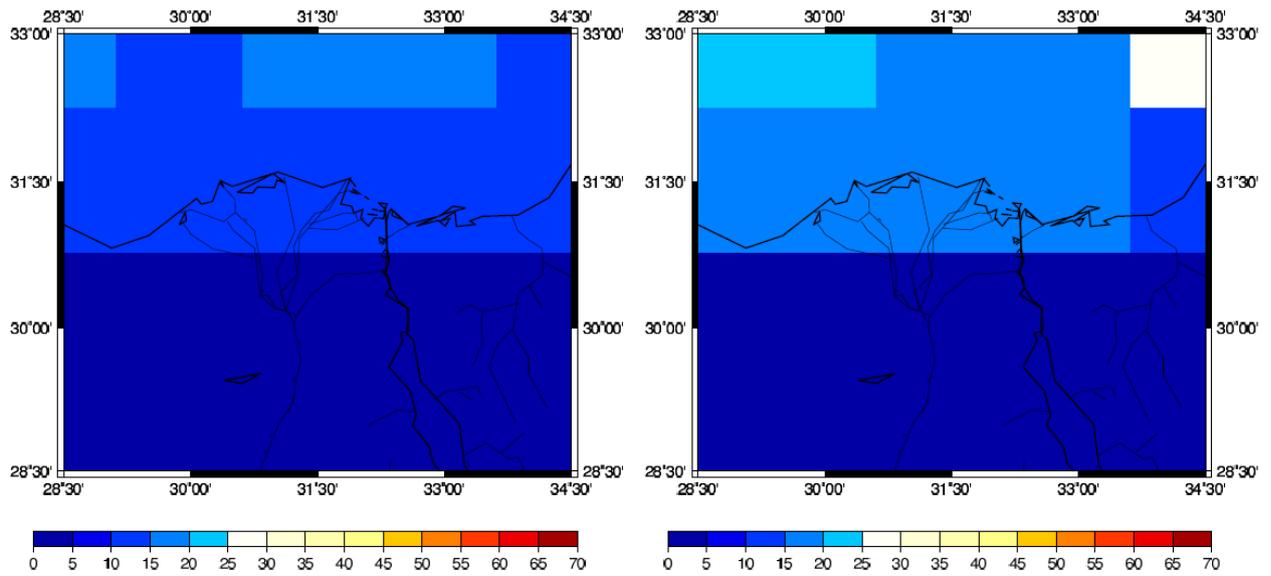


図 167 全雲量分布の分布 (2010 年 6 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC ~ 当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC ~ 当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC ~ 1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC ~ 2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

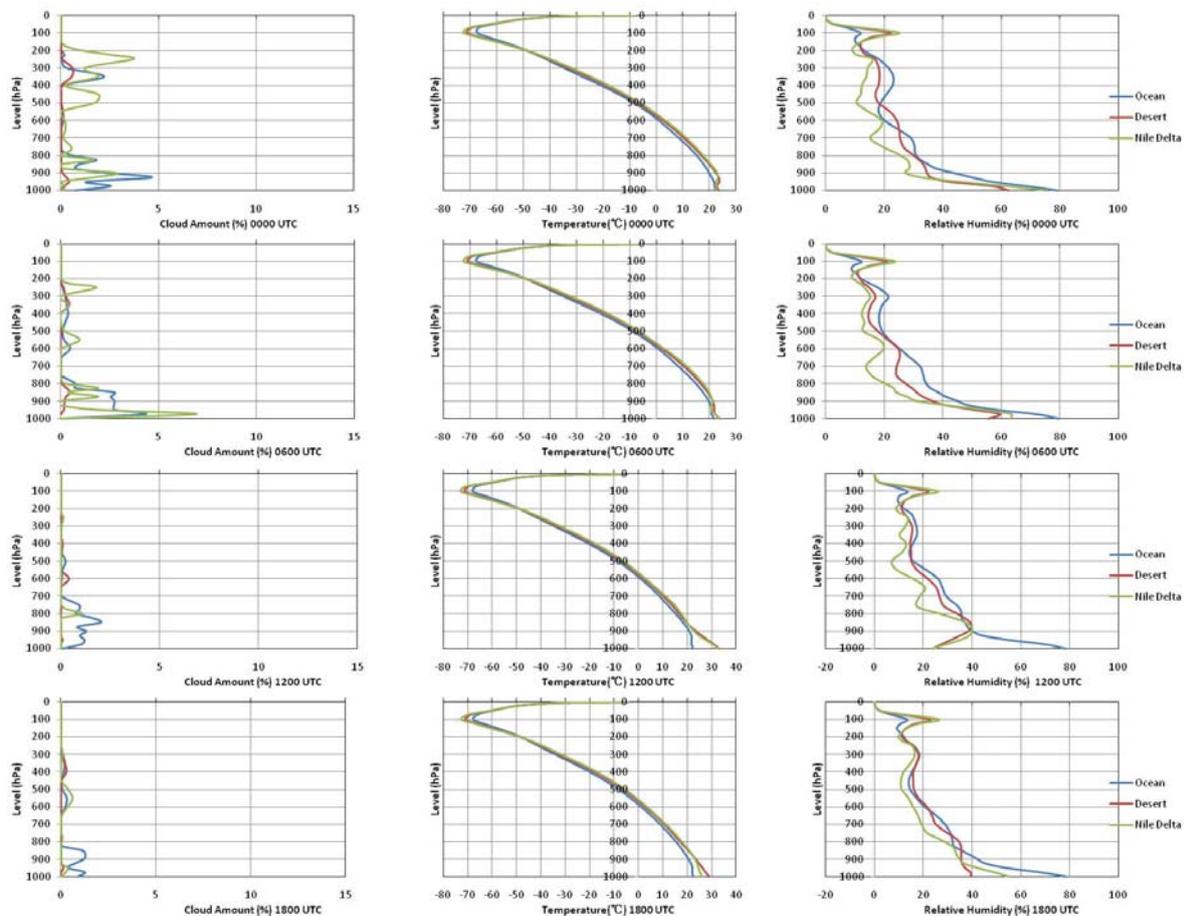


図 168 時間別気象要因高度分布 (2010年6月平均)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 33 持ち上げ凝結高度 (2010年6月平均, hPa)

Jun	ocean	desert	Nile Delta
0000 UTC	955	920	945
0600 UTC	942	884	924
1200 UTC	942	749	853
1800 UTC	955	828	899

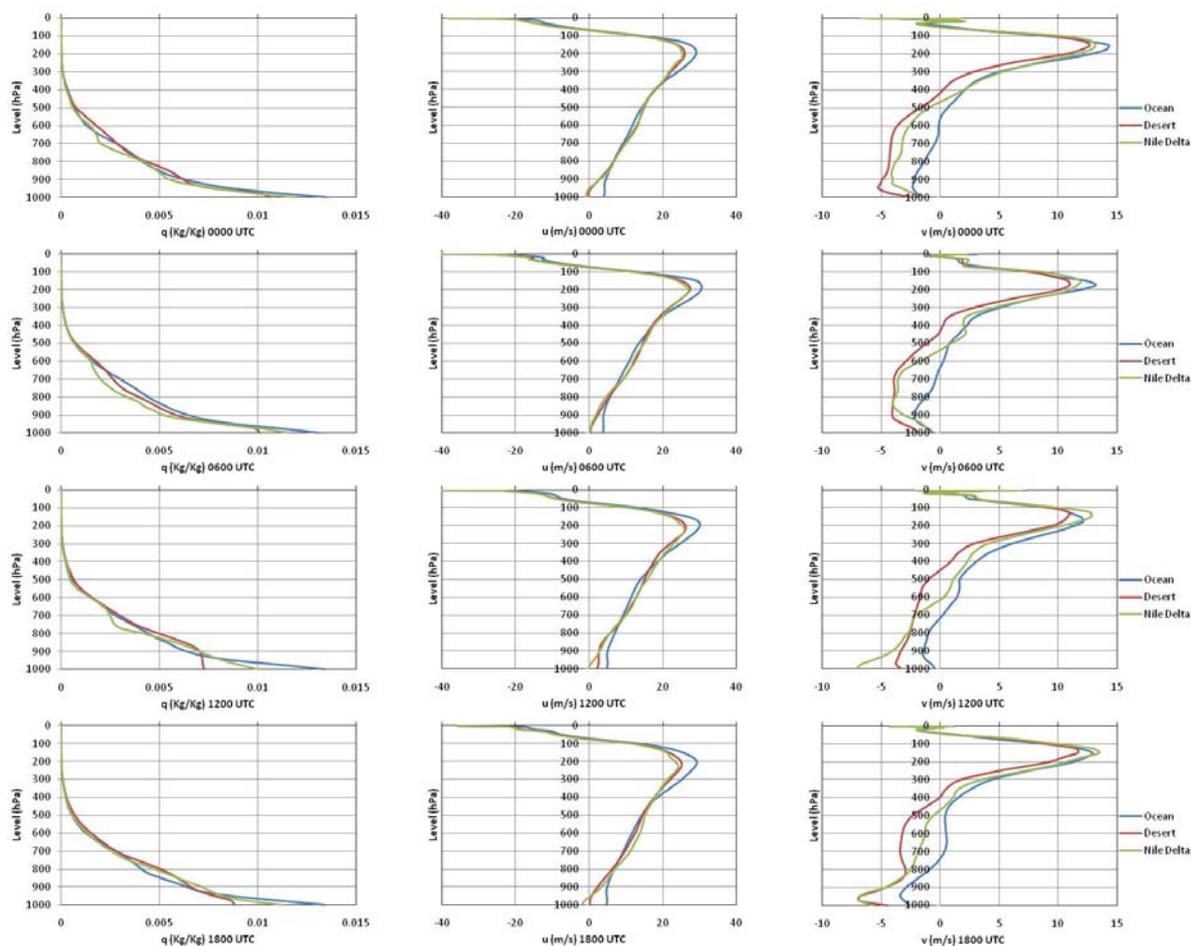


図 169 時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 6 月平均)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

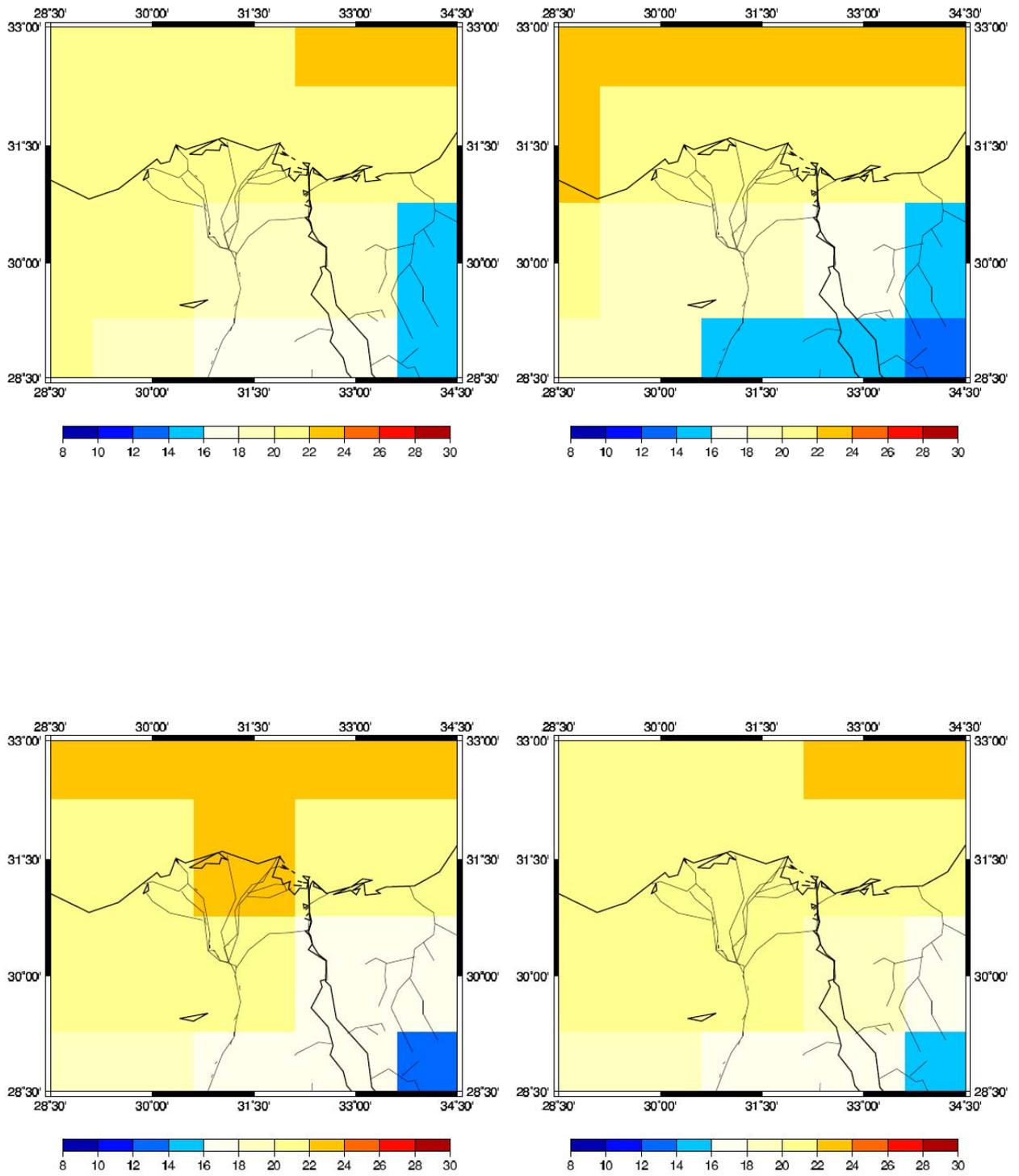


図 170 可降水量の分布図 (2010 年 6 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

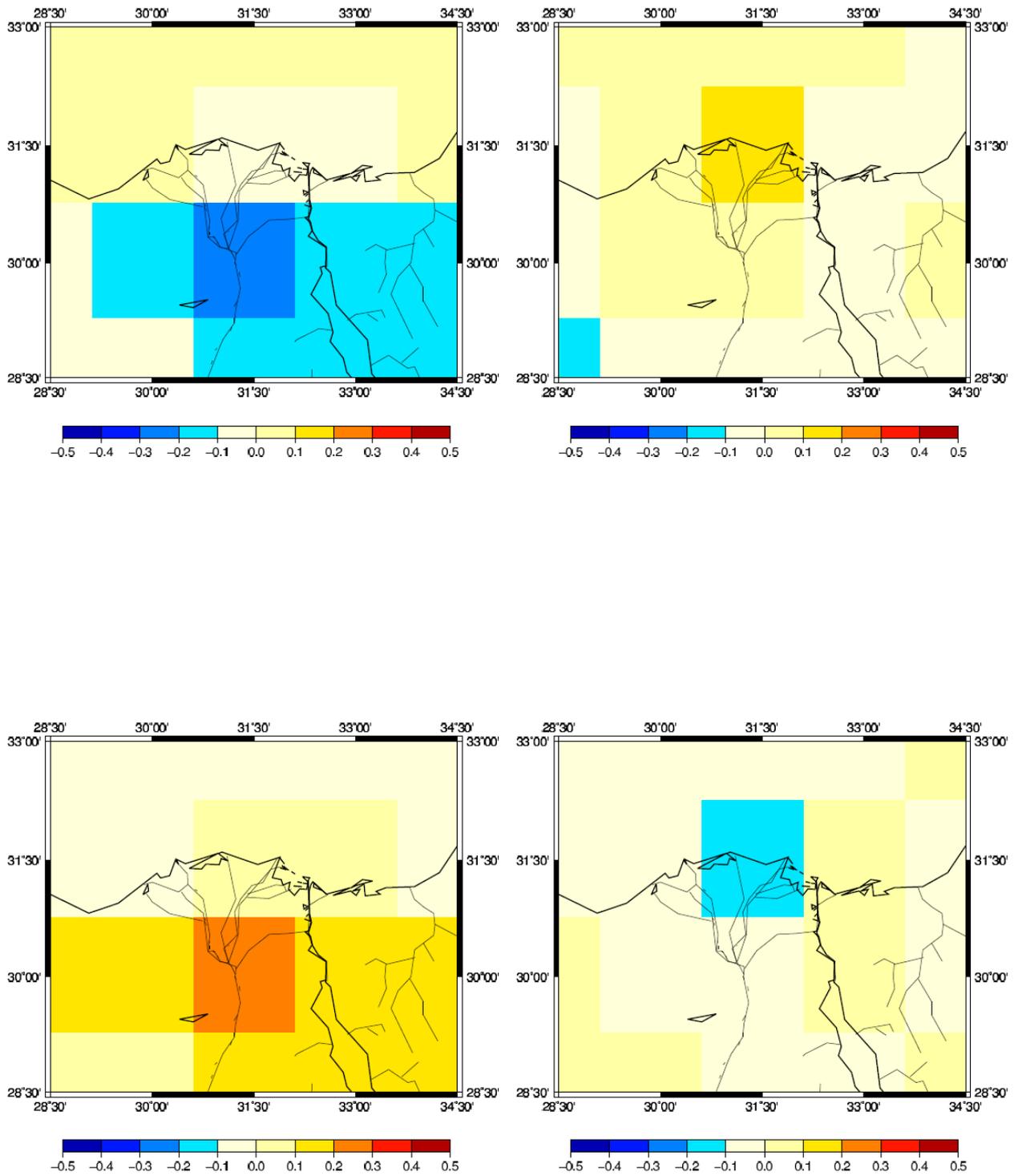


図 171 可降水量の時間変化分布図 (2010 年 6 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

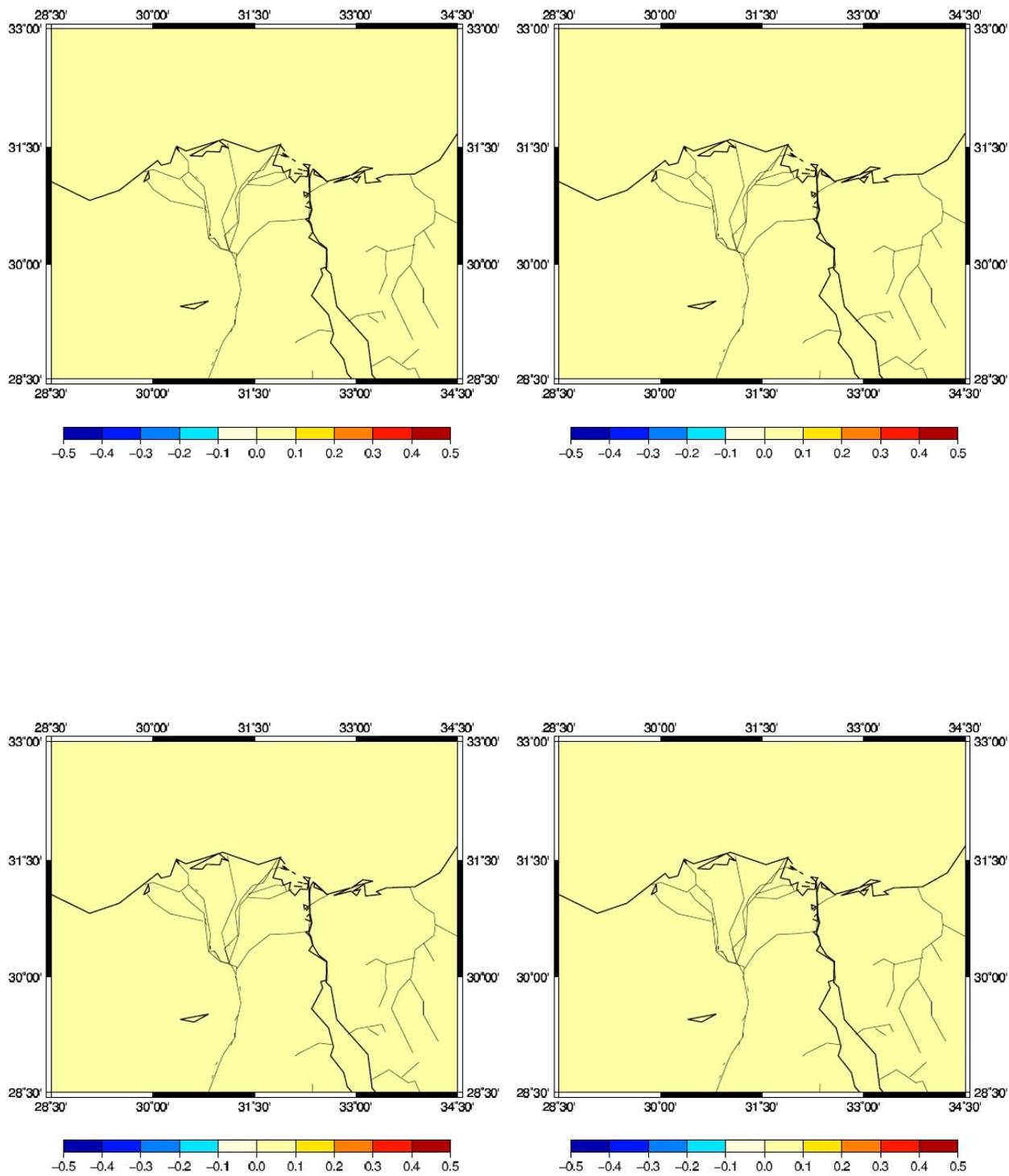


図 172 降水量の分布 (2010 年 6 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

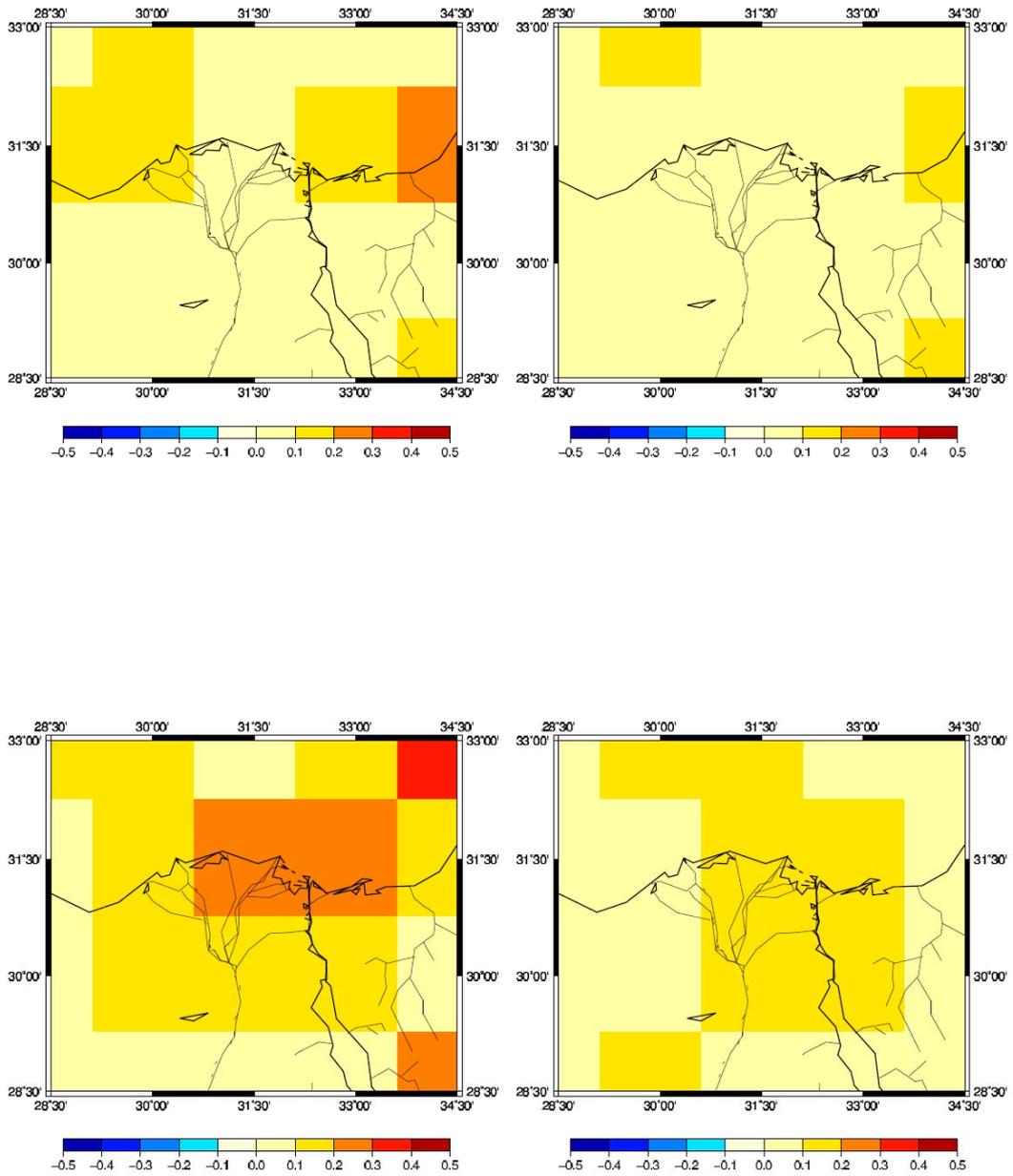


図 173 蒸発散量の分布 (2010 年 6 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

表 34 蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 6 月平均)

June	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	0.39	0.01	-0.36
0600 UTC	-0.21	-0.3	0.05
1200 UTC	-0.17	0.08	0.39
1800 UTC	-0.44	-0.20	0.02

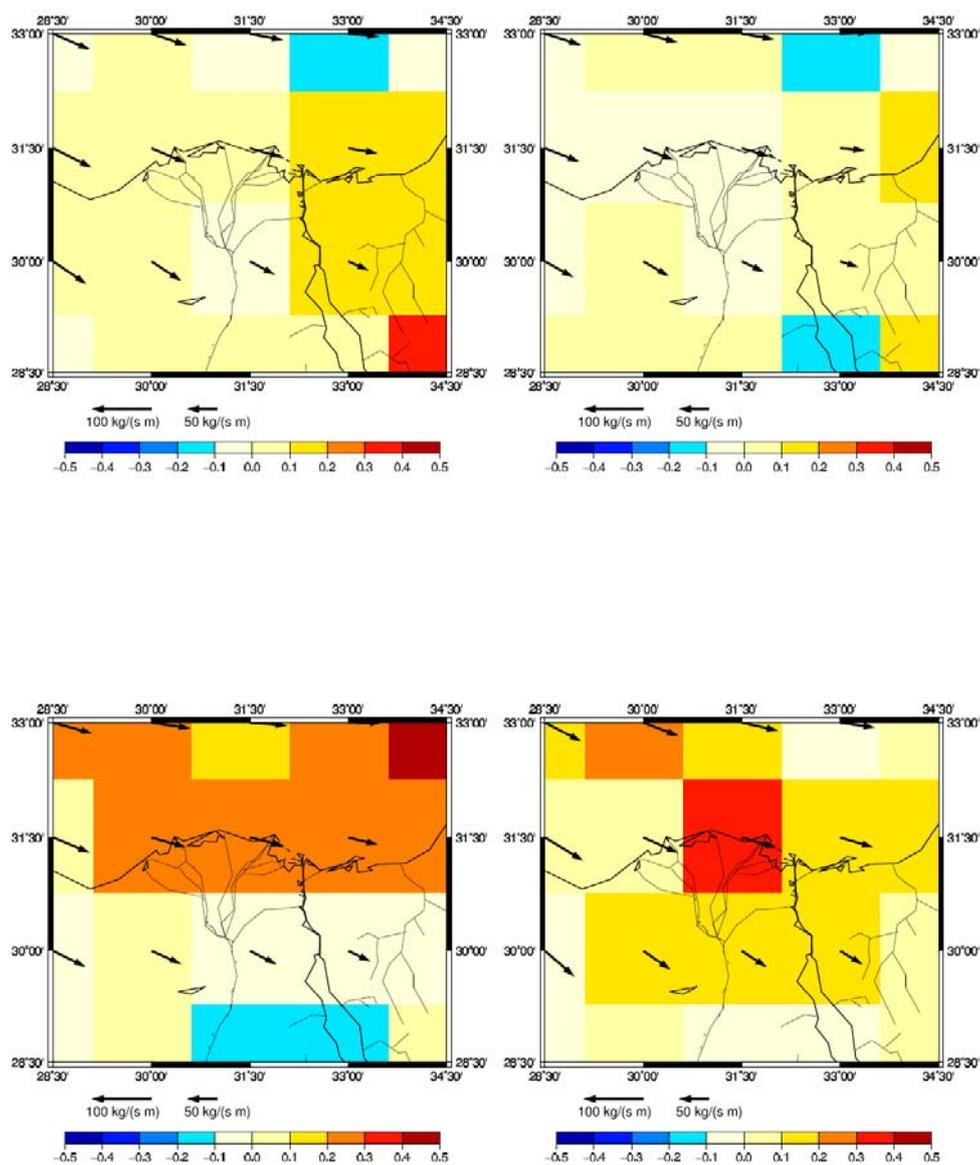


図 174 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 6 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す.

表 35 蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 6 月平均)

June	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.66	-0.90	-0.83
0600 UTC	-0.87	-0.83	-0.85
1200 UTC	-0.85	-0.82	-0.79
1800 UTC	-0.73	-0.87	-0.42

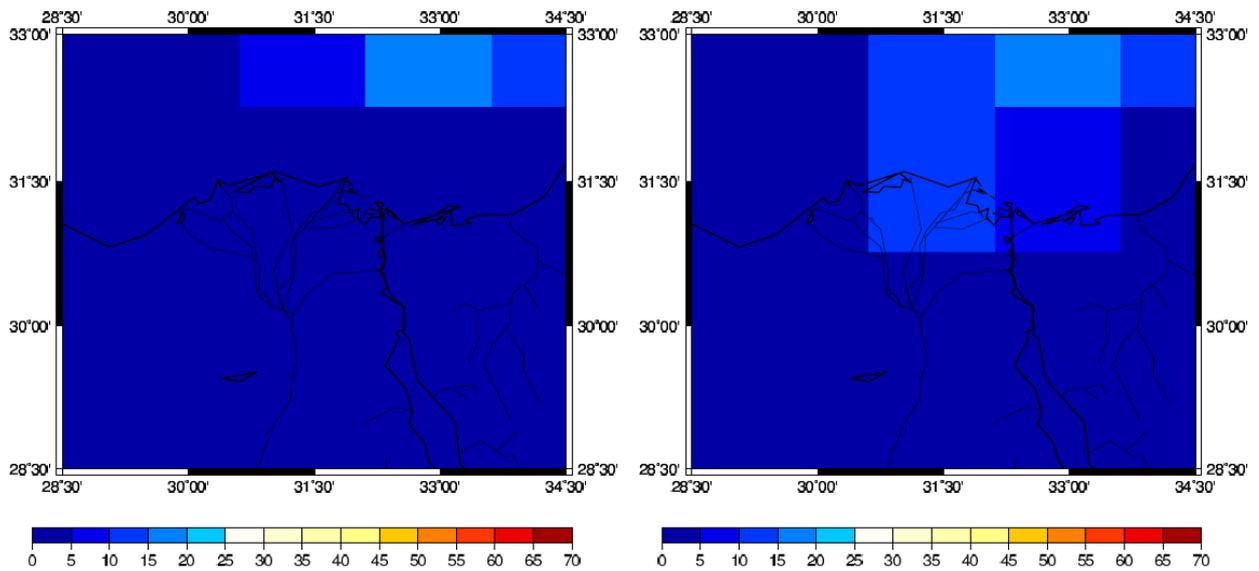
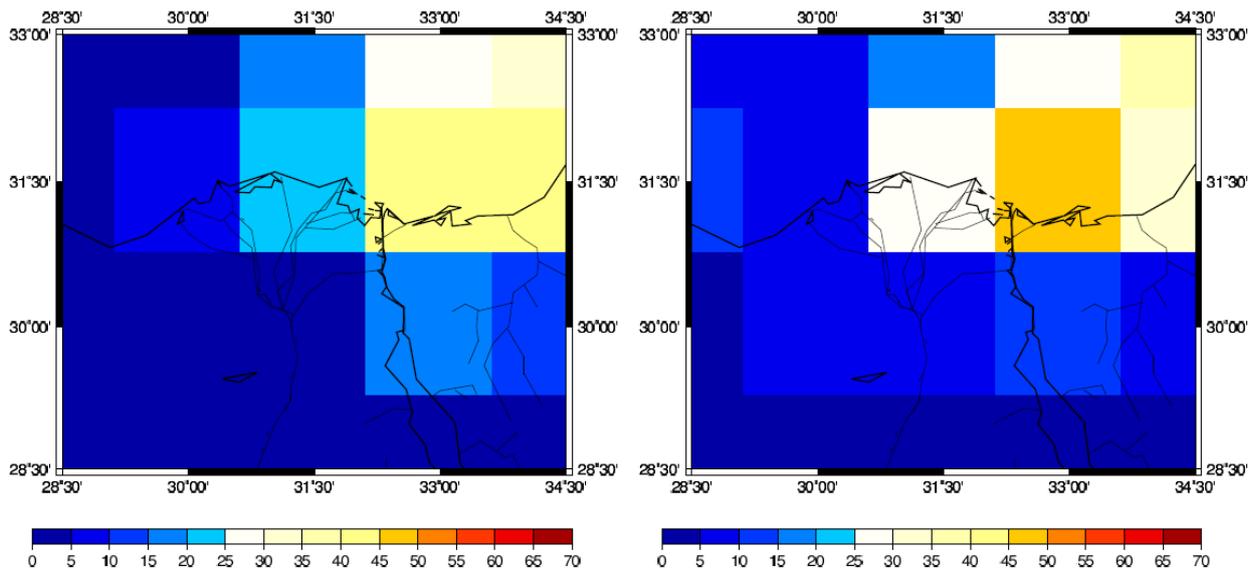


図 175 全雲量分布の分布 (2010 年 7 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

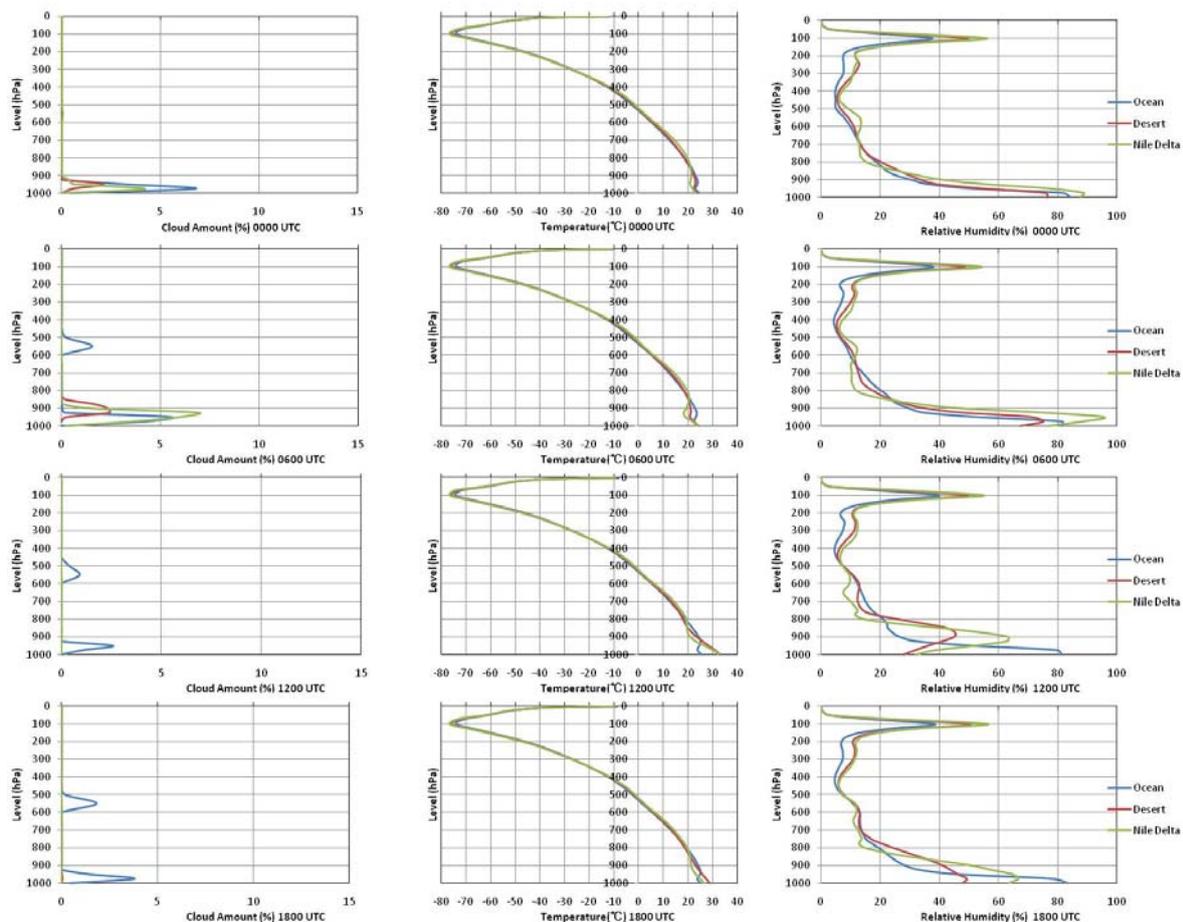


図 176 時間別気象要因高度分布 (2010 年 7 月平均)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 36 持ち上げ凝結高度 (2010 年 7 月平均, hPa)

Jul	ocean	desert	Nile Delta
0000 UTC	964	962	957
0600 UTC	946	925	950
1200 UTC	945	771	881
1800 UTC	964	865	903

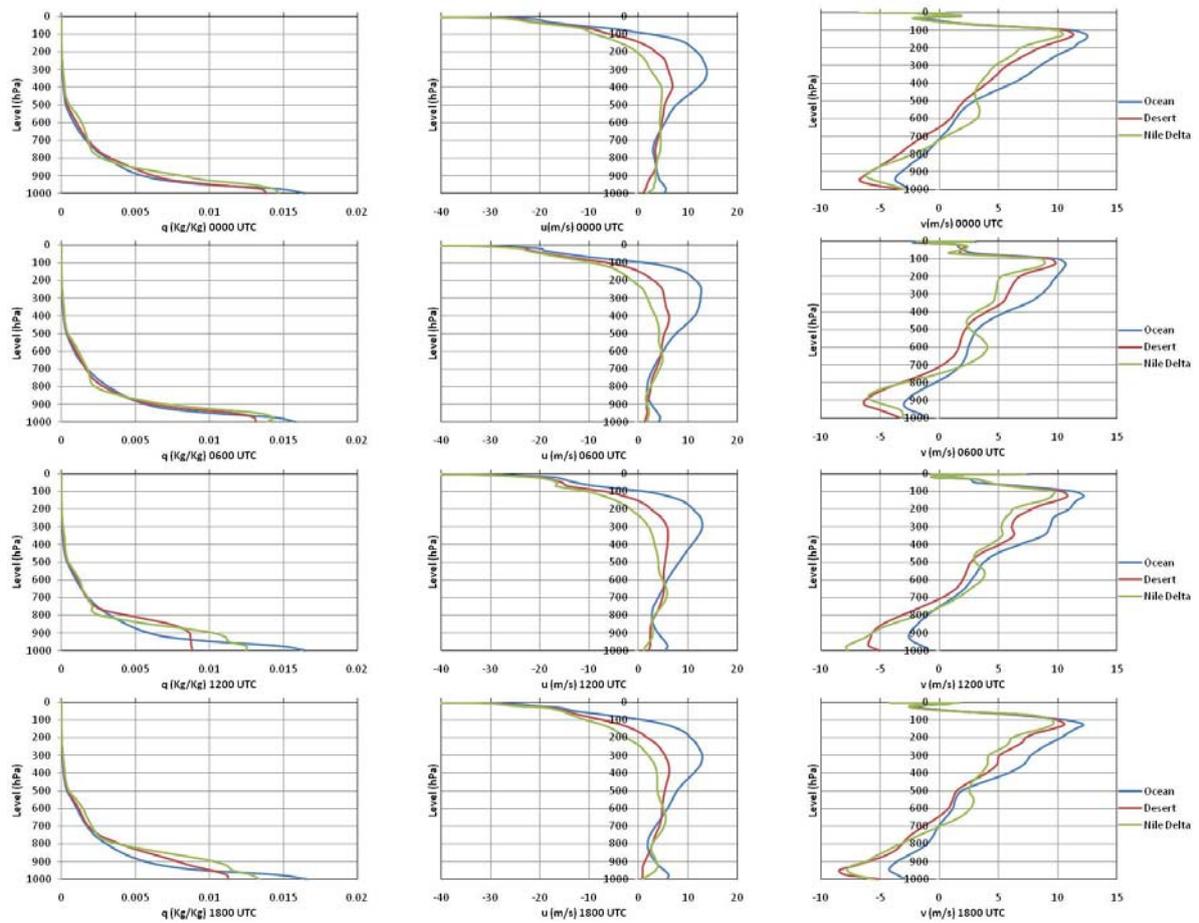


図 177 時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 7 月平均)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

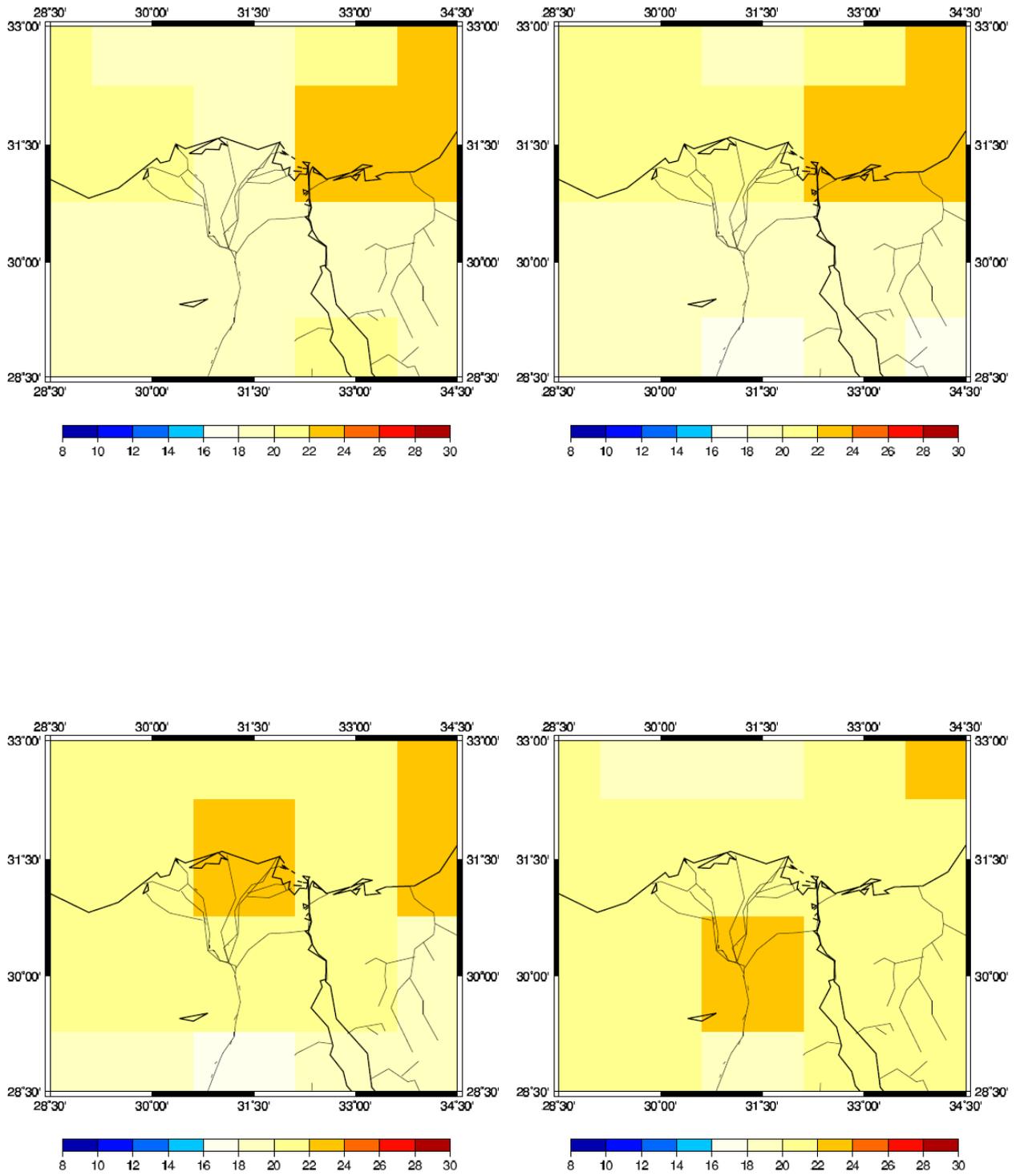


図 178 可降水量の分布図 (2010 年 7 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

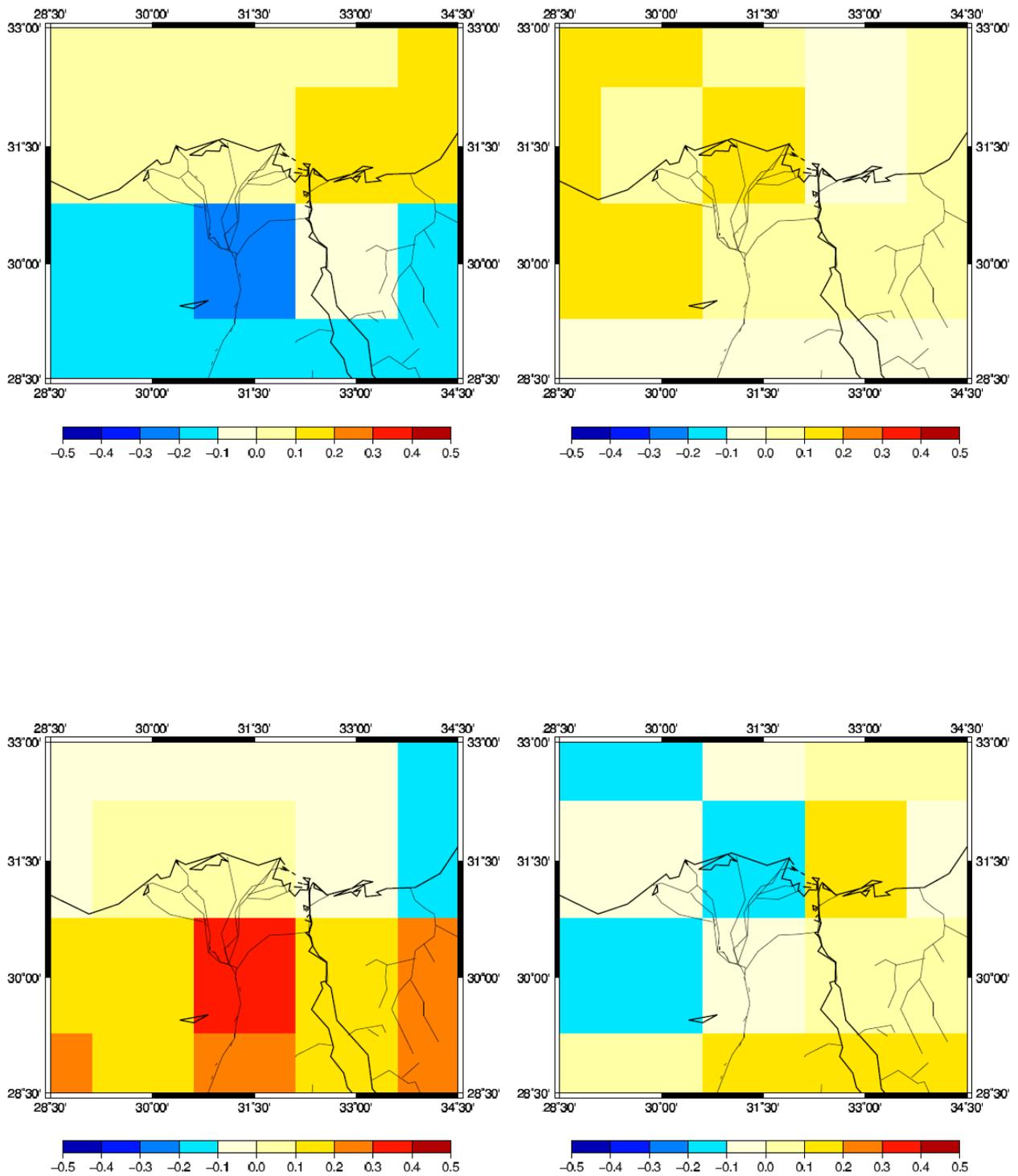


図 179 可降水量の時間変化分布図 (2010 年 7 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

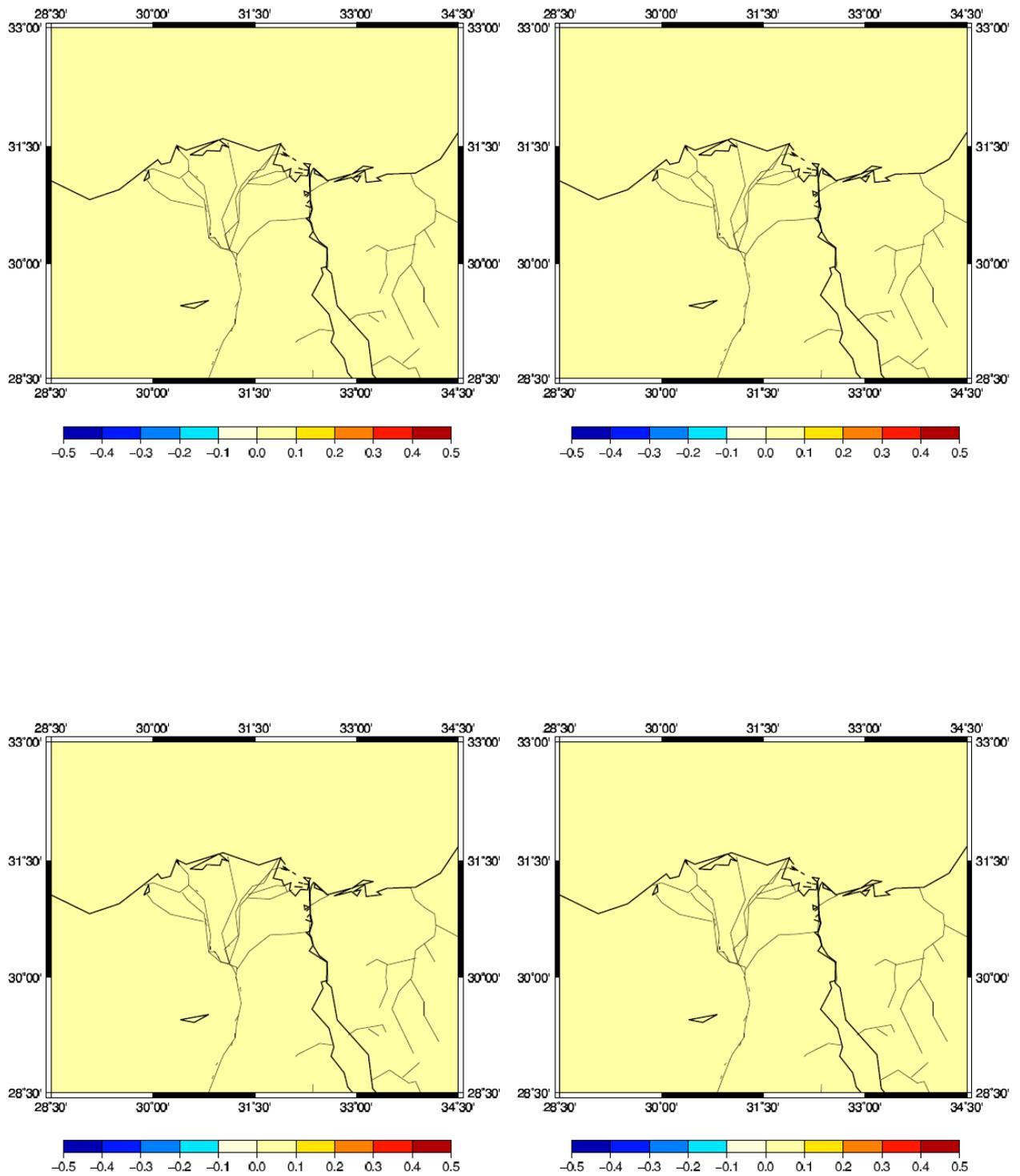


図 180 降水量の分布 (2010 年 7 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

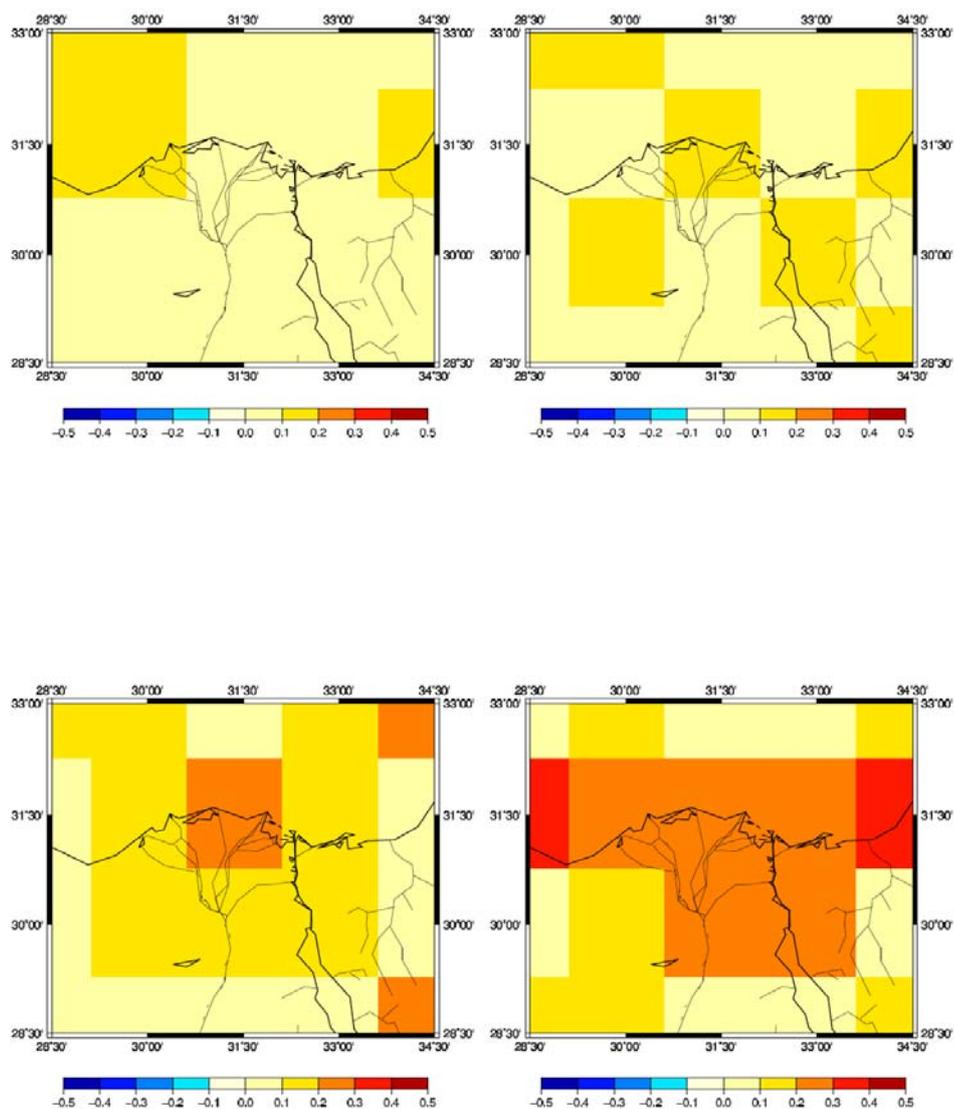


図 181 蒸発散量の分布 (2010年7月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

表 37 蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010年7月平均)

July	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	0.18	0.42	0.11
0600 UTC	0.52	0.33	0.10
1200 UTC	0.10	0.56	0.31
1800 UTC	0.12	-0.30	0.16

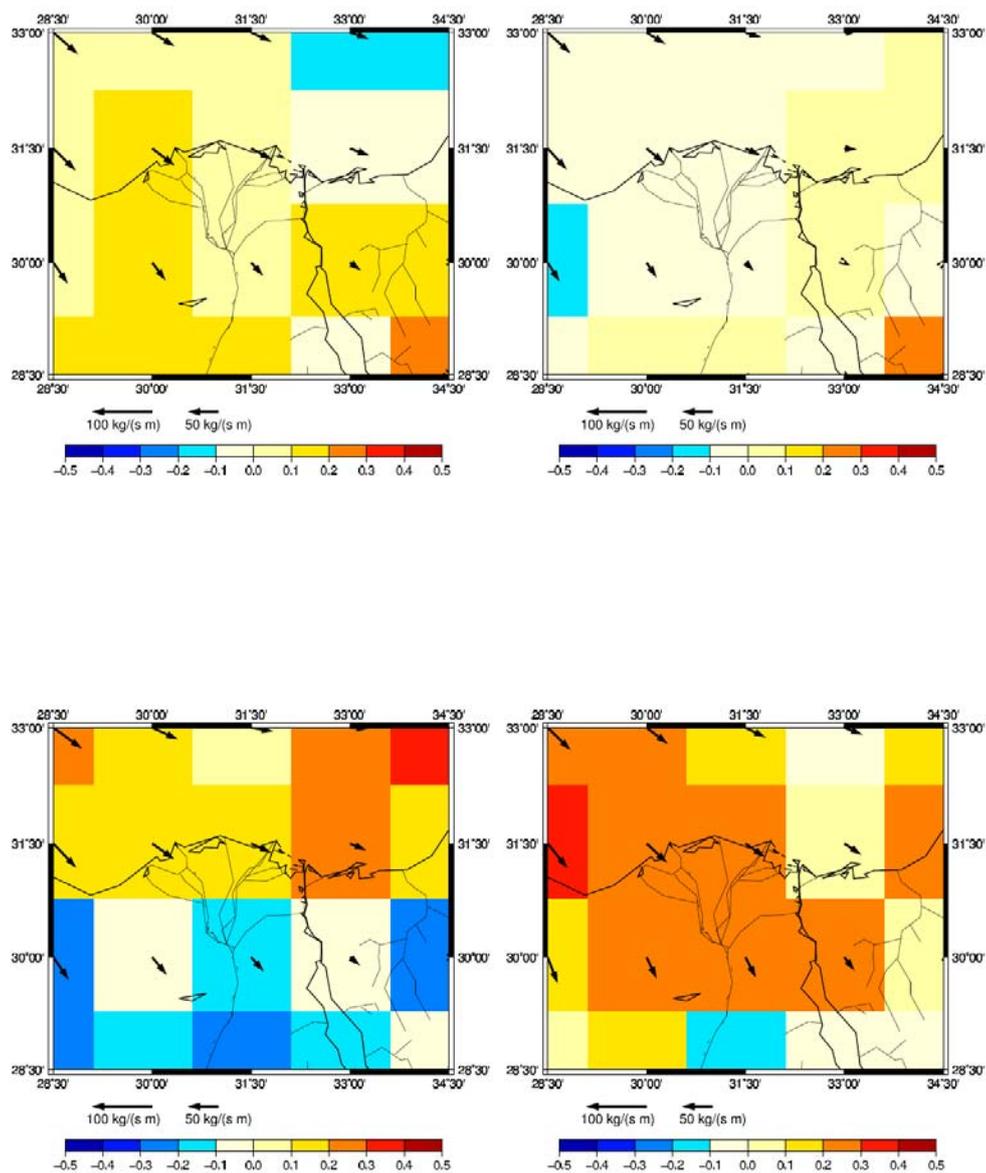


図 182 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 7 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す.

表 38 水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 7 月平均)

July	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.85	-0.86	-0.80
0600 UTC	-0.82	-0.88	-0.52
1200 UTC	-0.71	-0.75	-0.62
1800 UTC	-0.59	-0.91	-0.63

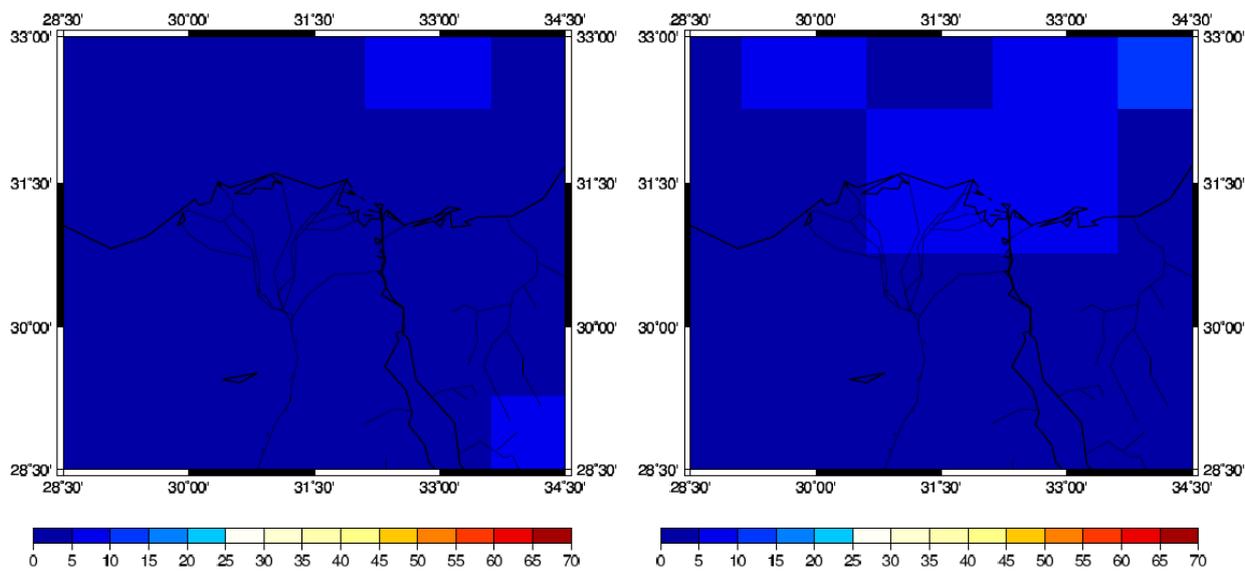
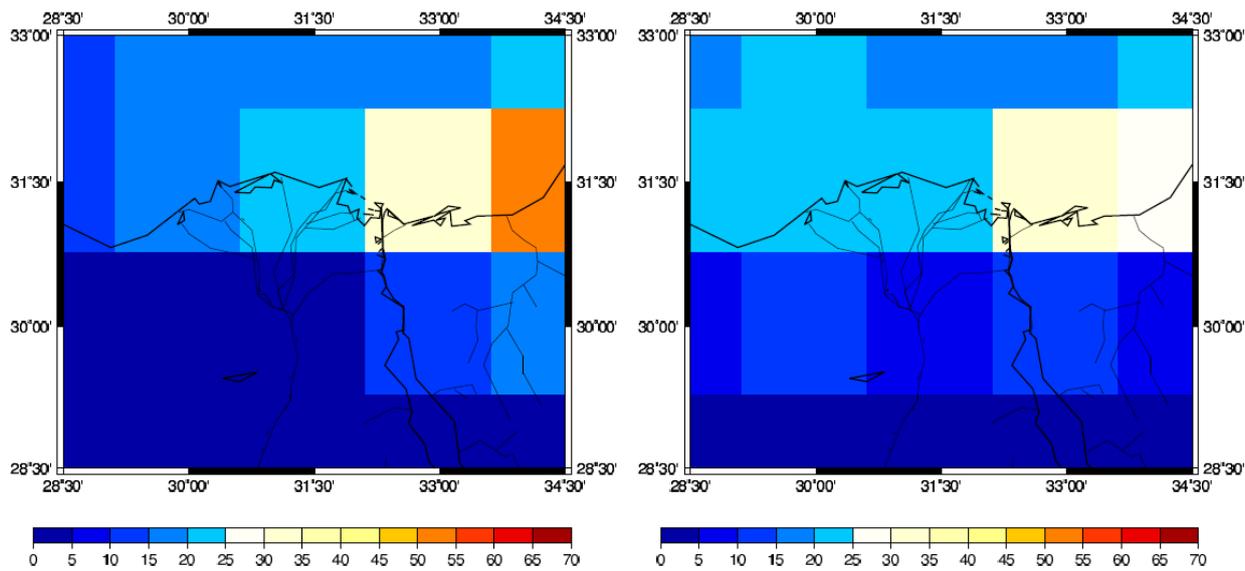


図 183 全雲量分布の分布 (2010 年 8 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

右上 : 0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

左下 : 1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

右下 : 1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

単位は%

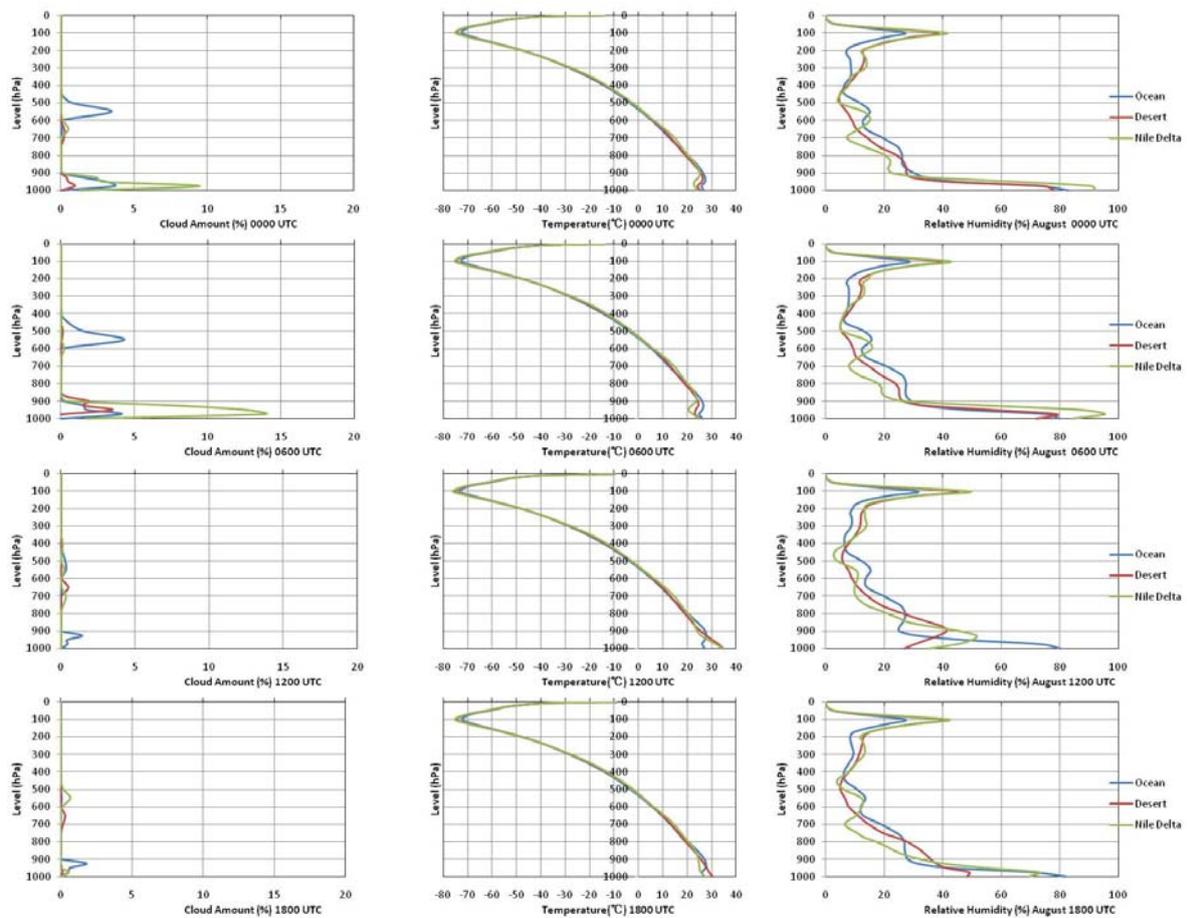


図 184 時間別気象要因高度分布 (2010 年 8 月平均)

左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

表 39 持ち上げ凝結高度 (2010 年 8 月平均, hPa)

Aug	ocean	desert	Nile Delta
0000 UTC	965	967	961
0600 UTC	949	935	959
1200 UTC	949	760	885
1800 UTC	967	870	914

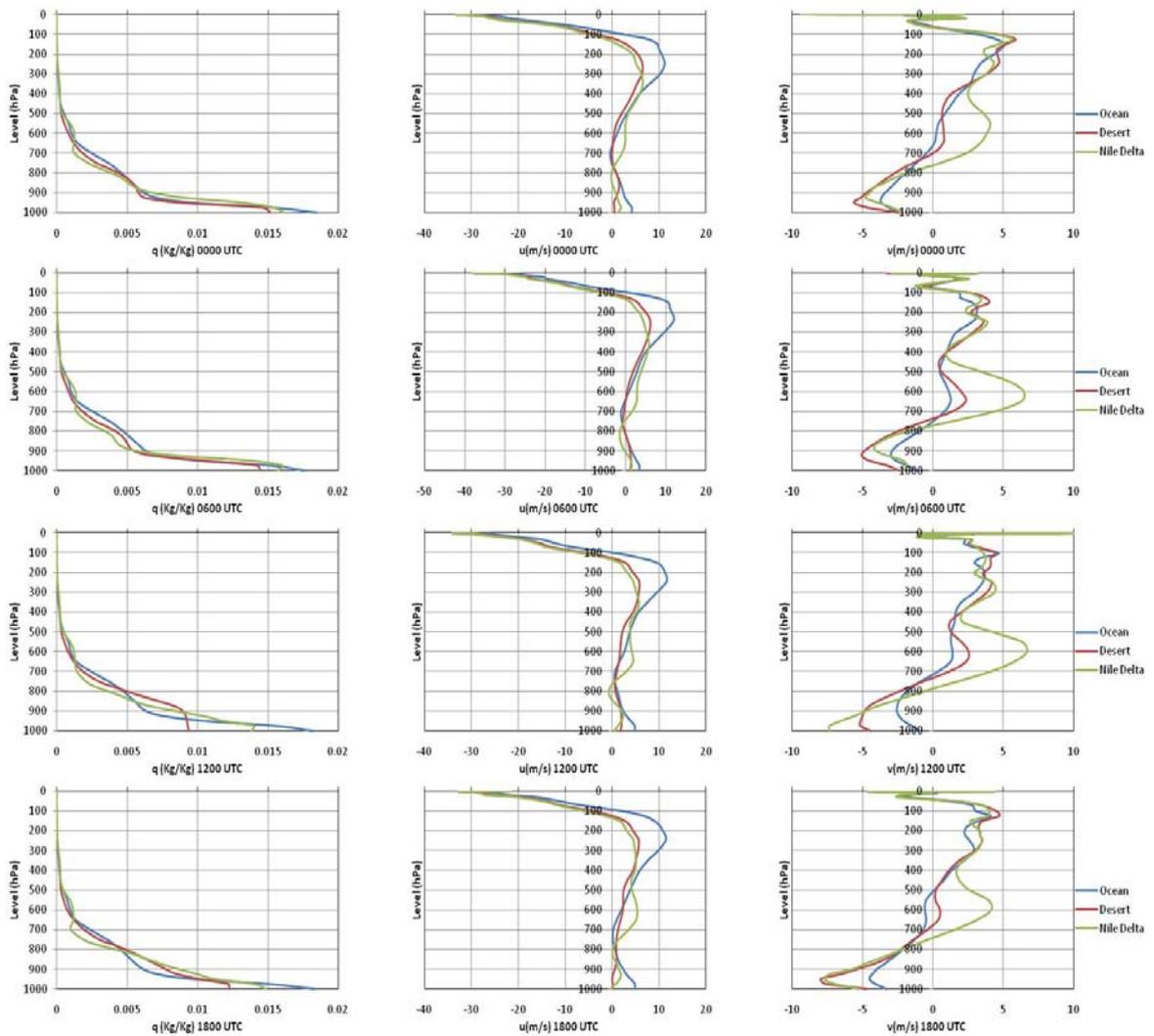


図 185 時間別気象要因高度分布 2 (2010 年 8 月平均)

左列より比湿 (%), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)

上より 0000 UTC (前日の 1500 UTC~当日の 0300 UTC のデータより内挿)

0600 UTC (前日の 2100 UTC~当日の 0900 UTC のデータより内挿)

1200 UTC (0300 UTC~1500 UTC のデータより内挿)

1800 UTC (0900 UTC~2100 UTC のデータより内挿)

東西風は西風が正, 南北風は南風が正

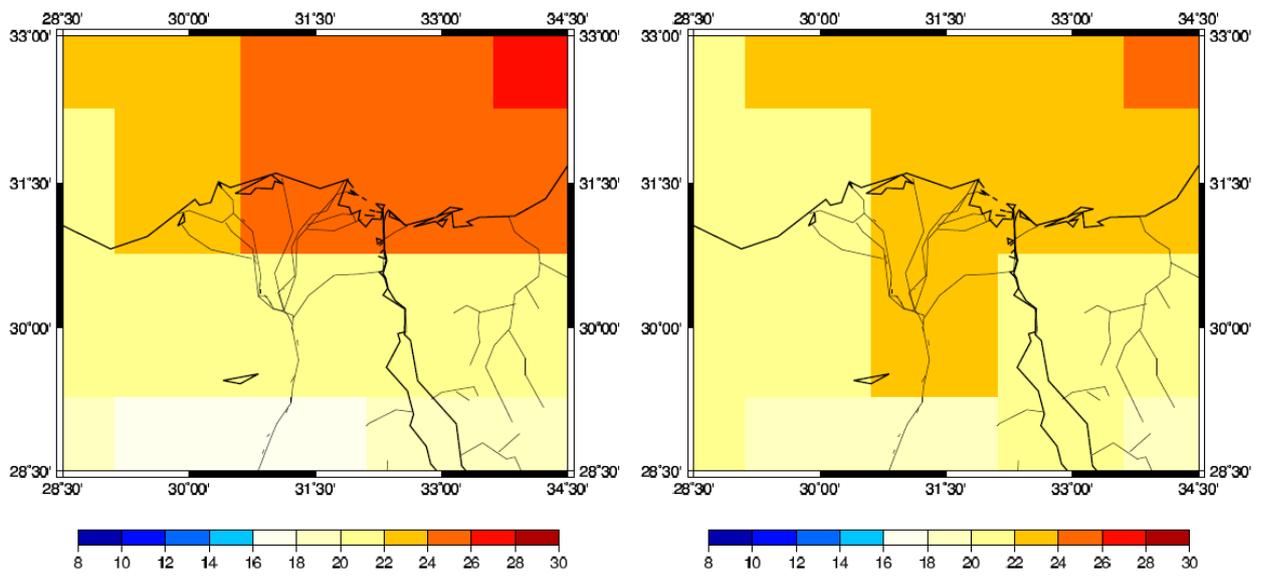
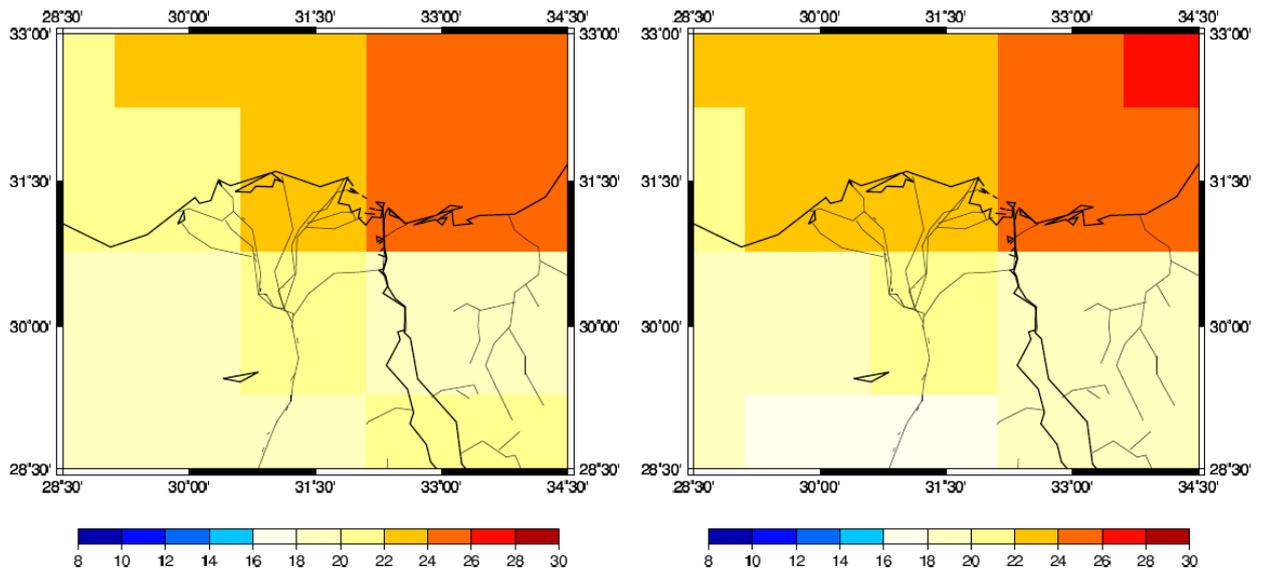


図 186 可降水量の分布図 (2010 年 8 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm

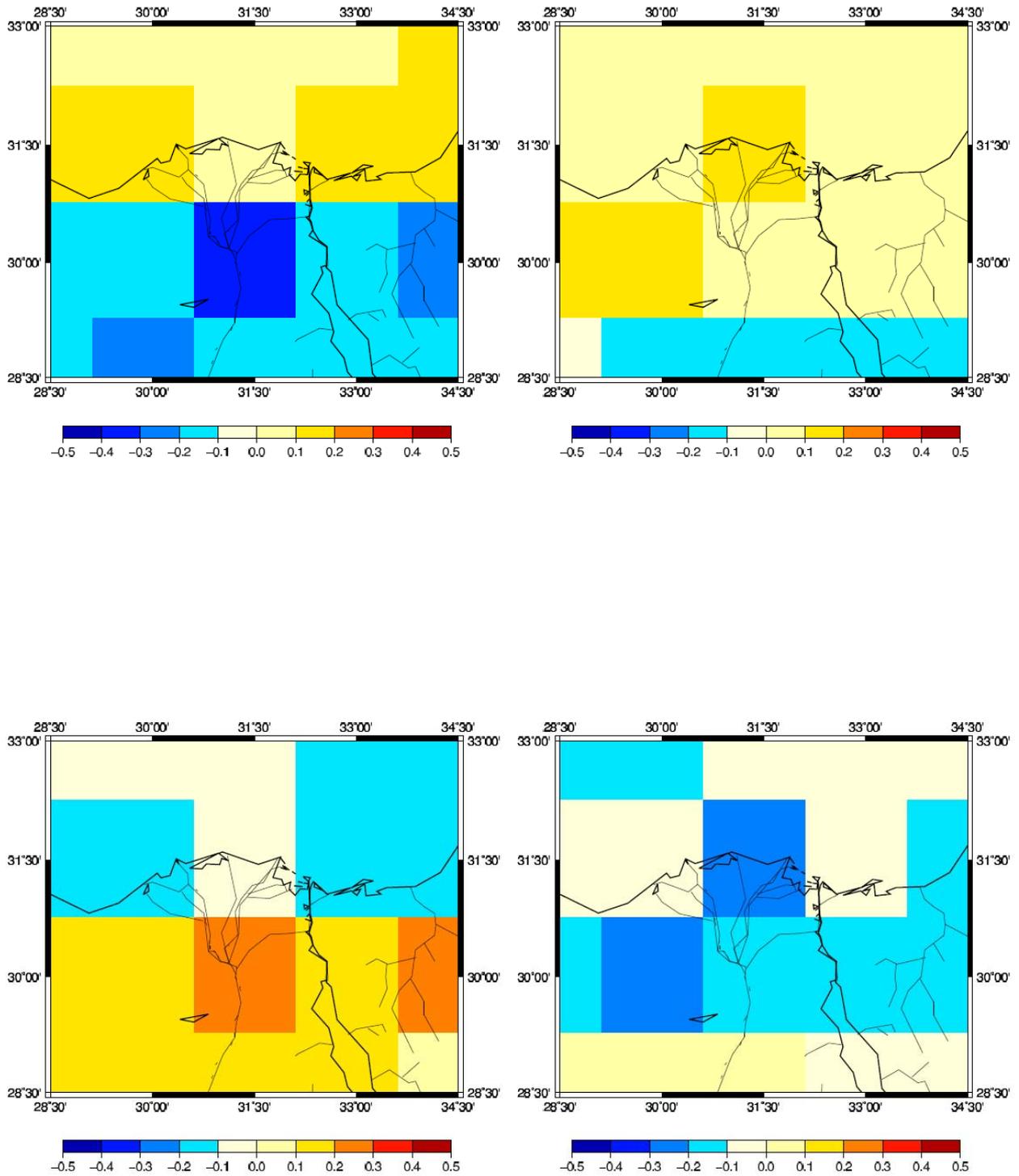


図 187 可降水量の時間変化分布図 (2010 年 8 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 1800 UTC から当日の 0600 UTC の 12 時間の時間変化)

右上 : 0600 UTC (0000 UTC~1200 UTC の 12 時間の時間変化)

左下 : 1200 UTC (0600 UTC~1800 UTC の 12 時間の時間変化)

右下 : 1800 UTC (1200 UTC~次の日の 0000 UTC の 12 時間の時間変化)

単位は mm/hour

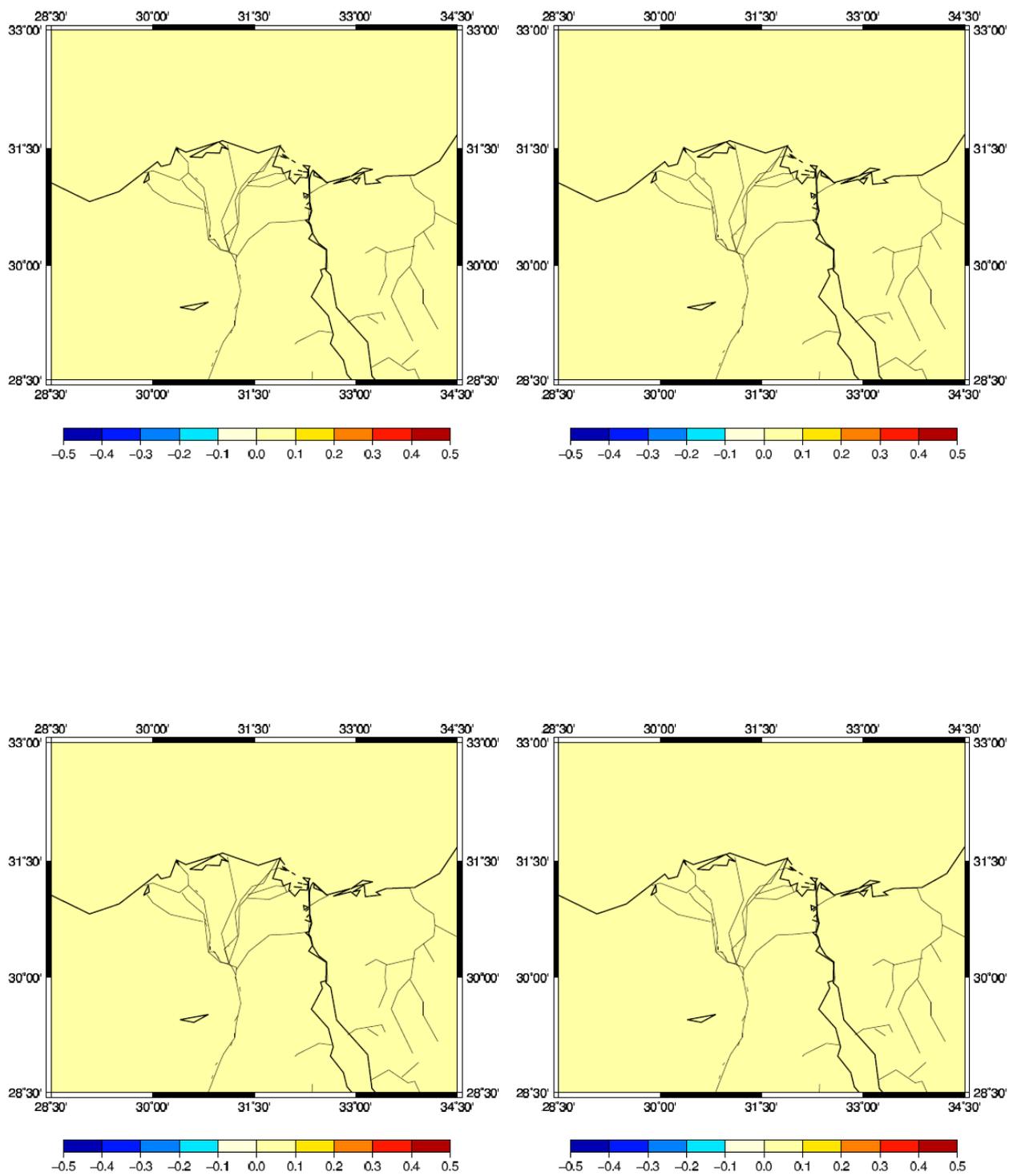


図 188 降水量の分布 (2010 年 8 月平均)

左上 : 0000 UTC (前日の 2200 UTC~当日の 0100 UTC 平均)

右上 : 0600 UTC (0400 UTC~0700 UTC 平均)

左下 : 1200 UTC (1000 UTC~1300 UTC 平均) 右下 : 1800 UTC (1600 UTC~1900 UTC 平均)

単位は mm/hour

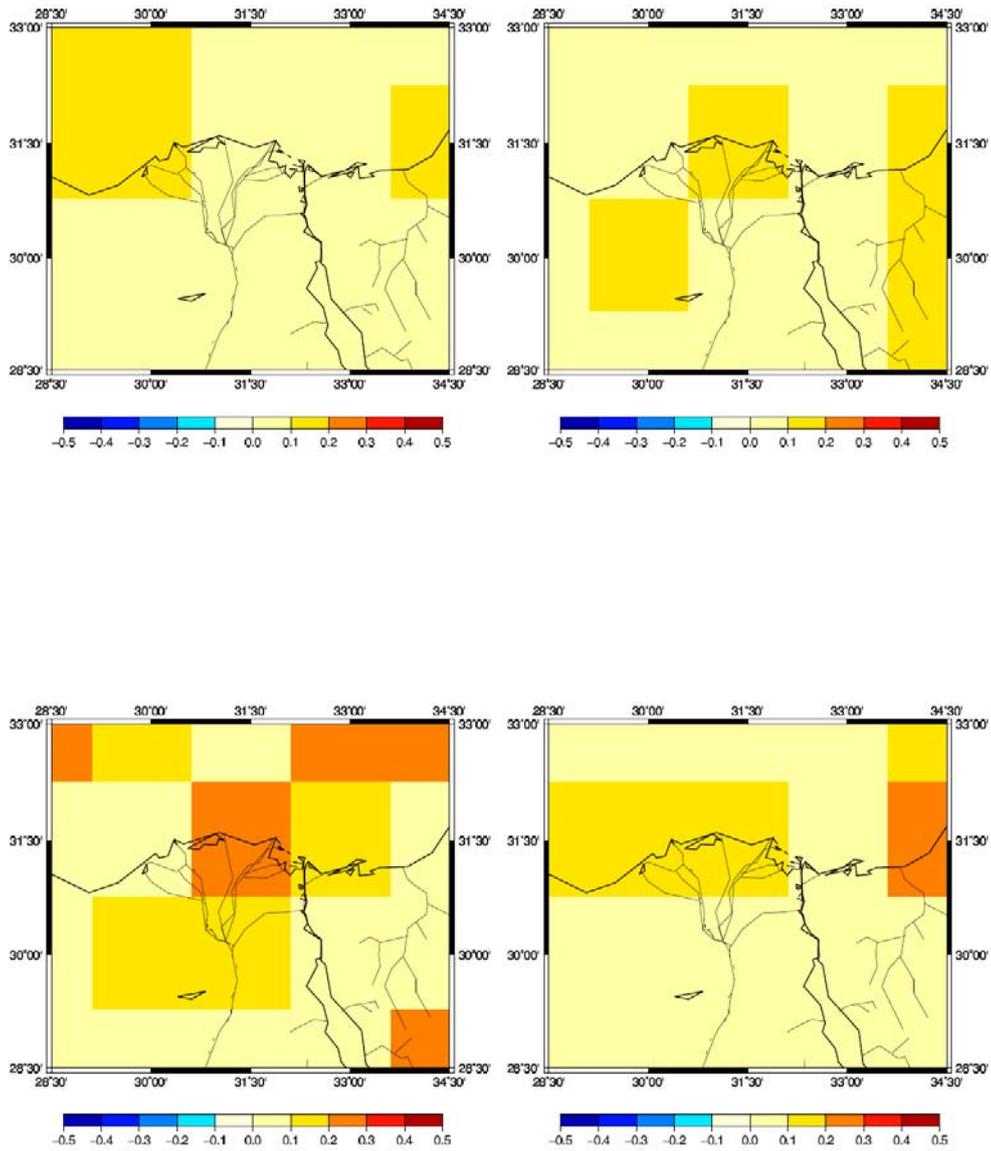


図 189 蒸発散量の分布 (2010 年 8 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC 単位は mm/hour

表 40 蒸発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 8 月平均)

August	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	0.33	0.34	0.02
0600 UTC	0.47	0.27	0.34
1200 UTC	0.27	0.32	0.40
1800 UTC	0.29	-0.19	0.13

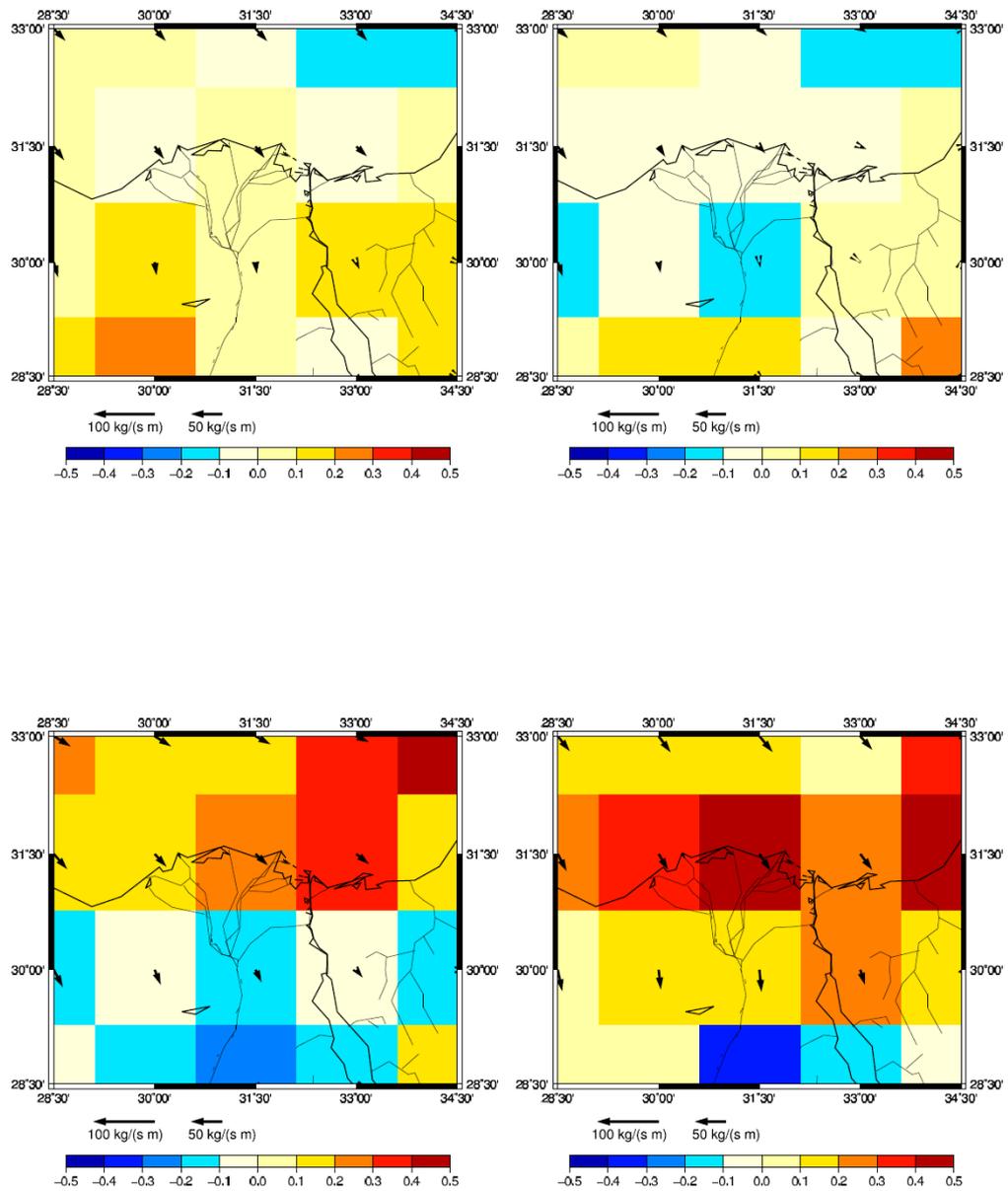


図 190 水蒸気フラックスと水蒸気発散の分布図 (2010 年 8 月平均)

左上 : 0000 UTC 右上 : 0600 UTC 左下 : 1200 UTC 右下 : 1800 UTC

矢印が水蒸気輸送量(kg/(m s)), グリッドの色は水蒸気発散量(mm/hour) を表す。

表 41 水蒸気発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率 (2010 年 8 月平均)

August	Ocean	Desert	Nile Delta
0000 UTC	-0.66	-0.68	-0.63
0600 UTC	-0.63	-0.78	-0.67
1200 UTC	-0.68	-0.72	-0.29
1800 UTC	-0.59	-0.77	-0.50

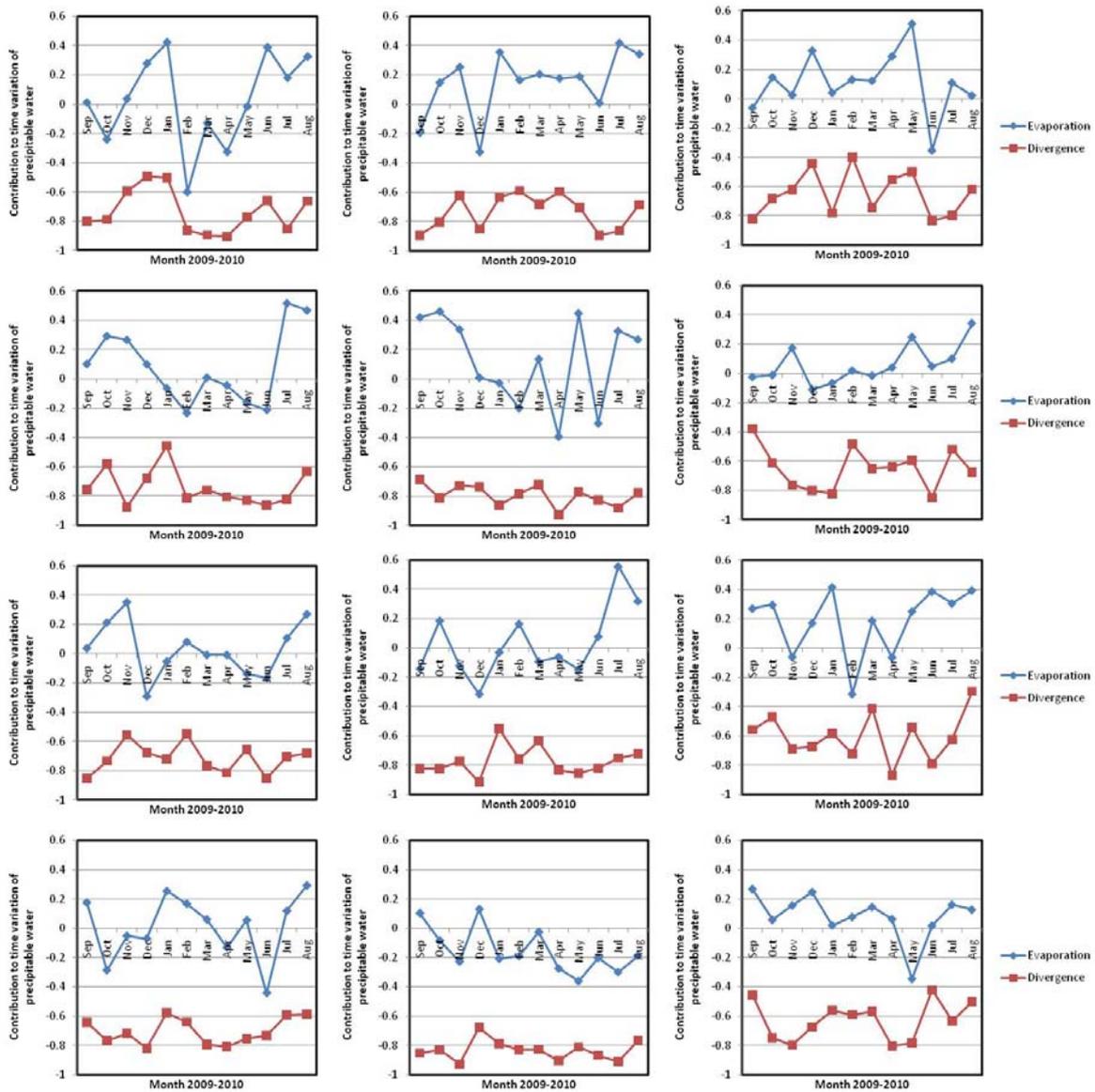


図 191 蒸発量と発散量の可降水量の時間変化に対する寄与率の月変化  
 上から 0000 UTC, 0600 UTC, 1200 UTC, 1800 UTC  
 左から海, 砂漠, ナイルデルタ

表 42 可降水量の時間変化に対する寄与率の時間平均 (季節別)

Autumn は 2009 年 9 月から 11 月平均, Winter は 2009 年 12 月から 2010 年 2 月平均,  
Spring は 2010 年 3 月から 5 月平均, Summer は 2010 年 6 月から 8 月平均を表す.  
地域別に最大値は赤, 最小値は青で示す. (ただし水蒸気発散量については絶対値)

	Evaporation	0000 UTC	0600 UTC	1200 UTC	1800 UTC
Ocean	Autumn	-0.06	0.22	0.20	-0.05
	Winter	0.04	-0.07	-0.09	0.12
	Spring	-0.16	-0.07	-0.05	0.00
	Summer	0.30	0.26	0.07	-0.01
Desert	Autumn	0.07	0.41	-0.03	-0.07
	Winter	0.06	-0.07	-0.06	-0.09
	Spring	0.19	0.06	-0.10	-0.22
	Summer	0.26	0.10	0.32	-0.23
Nile Delta	Autumn	0.04	0.05	0.17	0.16
	Winter	0.17	-0.05	0.09	0.12
	Spring	0.31	0.09	0.13	-0.04
	Summer	-0.07	0.16	0.36	0.10

	Divergence	0000 UTC	0600 UTC	1200 UTC	1800 UTC
Ocean	Autumn	-0.73	-0.74	-0.71	-0.71
	Winter	-0.62	-0.65	-0.65	-0.68
	Spring	-0.86	-0.80	-0.75	-0.79
	Summer	-0.73	-0.77	-0.75	-0.64
Desert	Autumn	-0.77	-0.74	-0.81	-0.87
	Winter	-0.69	-0.79	-0.74	-0.77
	Spring	-0.66	-0.81	-0.77	-0.85
	Summer	-0.81	-0.83	-0.76	-0.85
Nile Delta	Autumn	-0.71	-0.58	-0.57	-0.67
	Winter	-0.54	-0.70	-0.66	-0.61
	Spring	-0.60	-0.63	-0.61	-0.72
	Summer	-0.75	-0.68	-0.57	-0.52

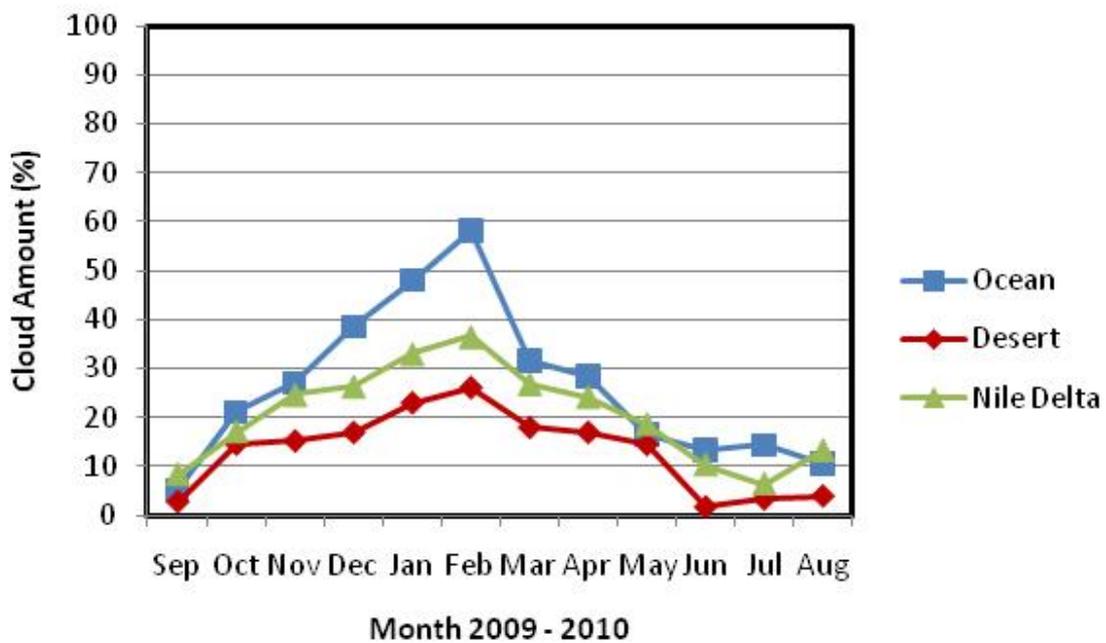


図 192 月別総雲量 (%)

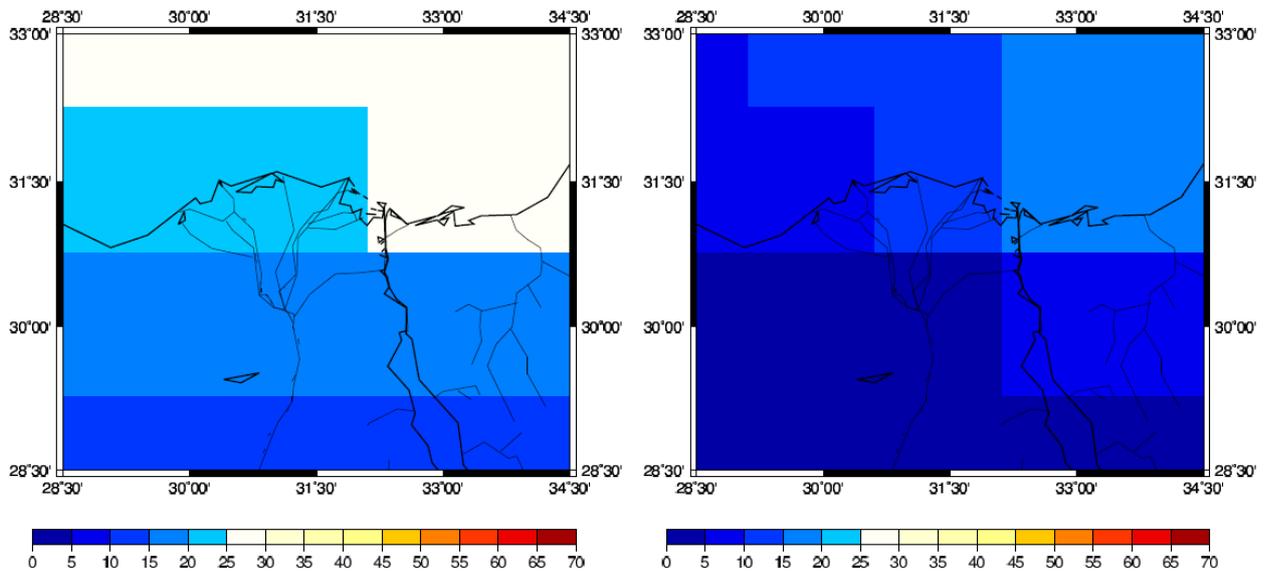
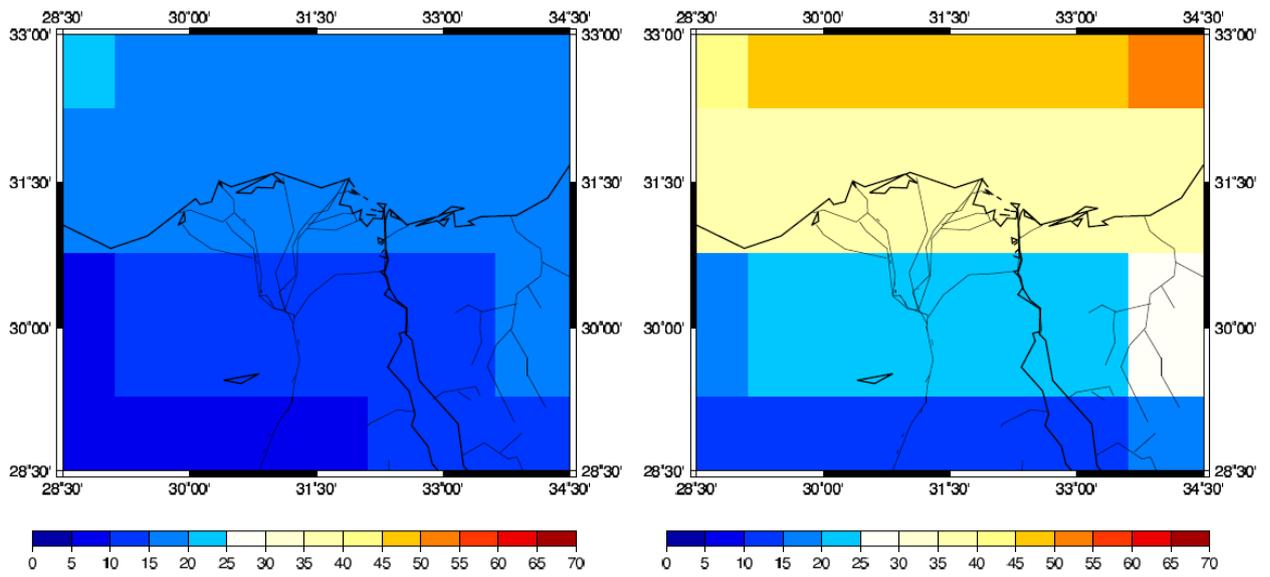


図 193 季節別全雲量の分布

左上：秋（2009年9月から11月平均） 右上：冬（2009年12月から2010年2月平均）

左下：春（2010年3月から5月平均） 右下：夏（2010年6月から8月平均）

単位は%

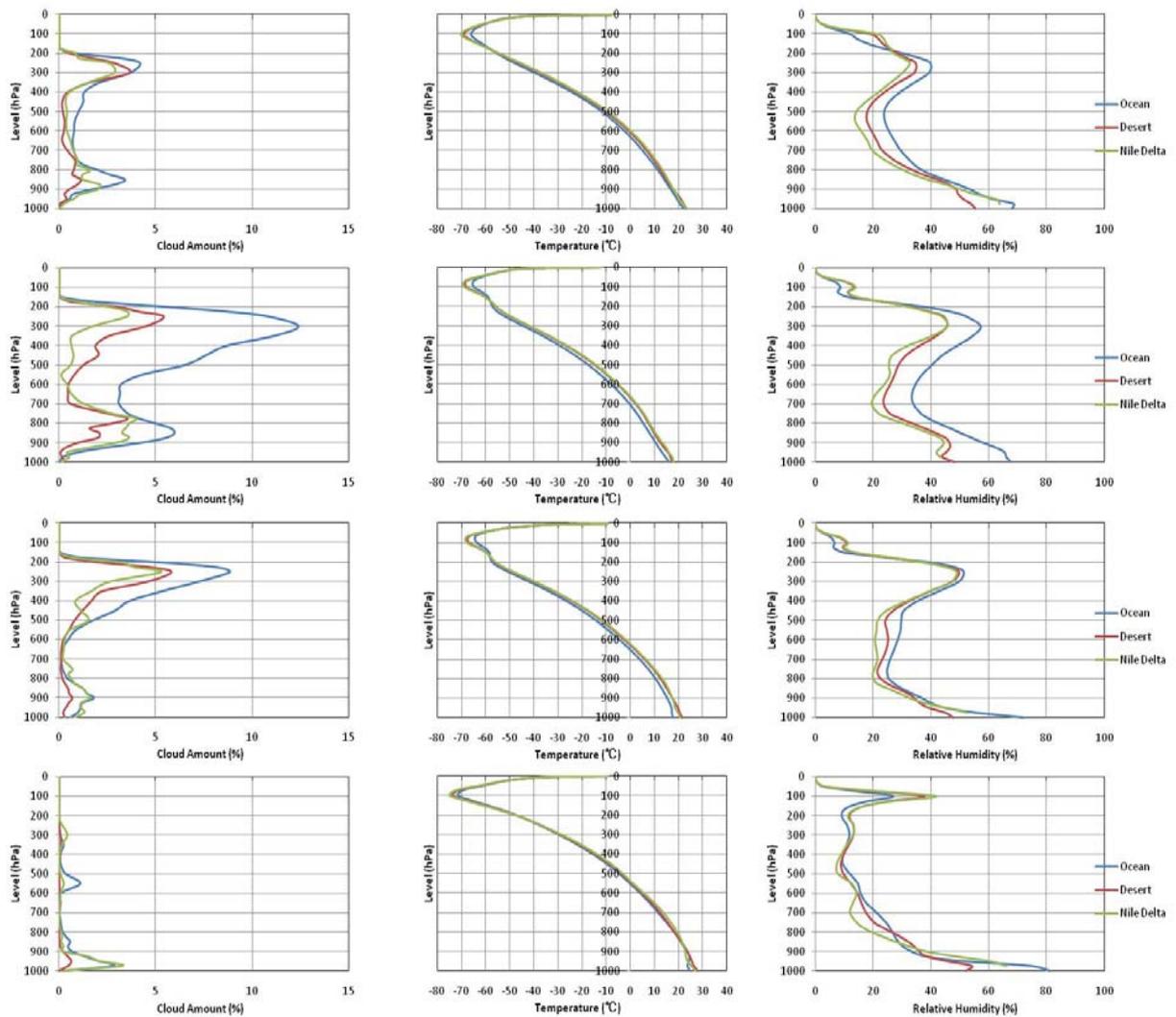


図 194 時間別気象要因高度分布 (季節別平均)  
 左列より雲量 (%), 気温 (°C), 相対湿度 (%)  
 上より秋 (2009年9月から11月平均),  
 冬 (2009年12月から2010年2月平均),  
 春 (2010年3月から5月平均),  
 夏 (2010年6月から8月平均)

表 43 持ち上げ凝結高度 (hPa)

	ocean	desert	Nile Delta
Autumn	922	884	935
Winter	935	864	930
Spring	938	842	911
Summer	953	866	920

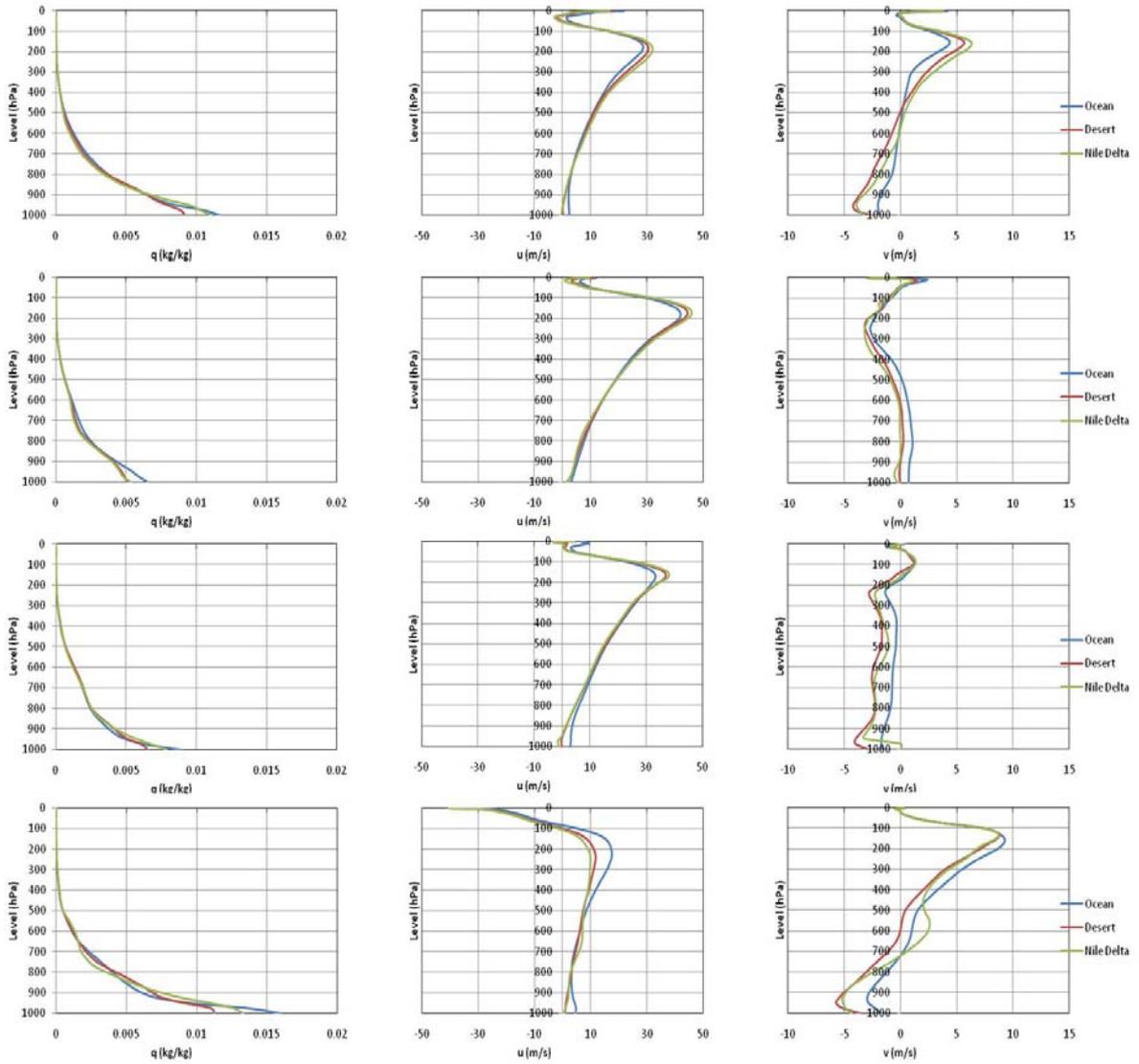


図 195 時間別気象要因高度分布 2 (季節別平均)  
 左列より比湿 (kg/kg), 東西風 (m/s), 南北風 (m/s)  
 東西風は西風が正, 南北風は南風が正  
 上より秋 (2009年9月から11月平均),  
 冬 (2009年12月から2010年2月平均),  
 春 (2010年3月から5月平均),  
 夏 (2010年6月から8月平均)

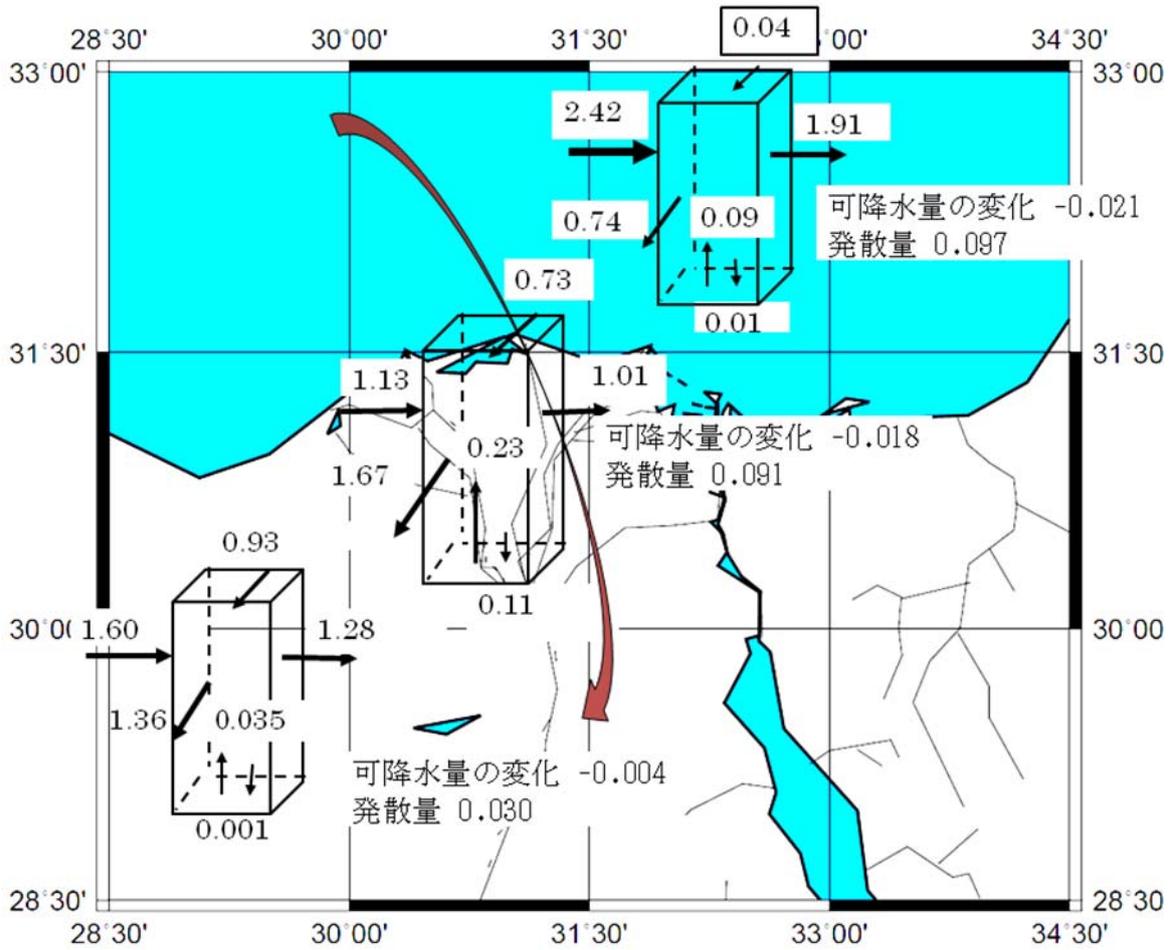
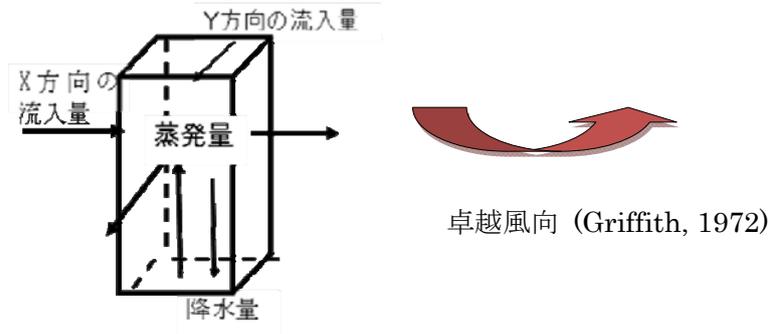


図 196 秋の地域別大気水収支 (2009年9月から11月平均)

単位はすべて mm/hour

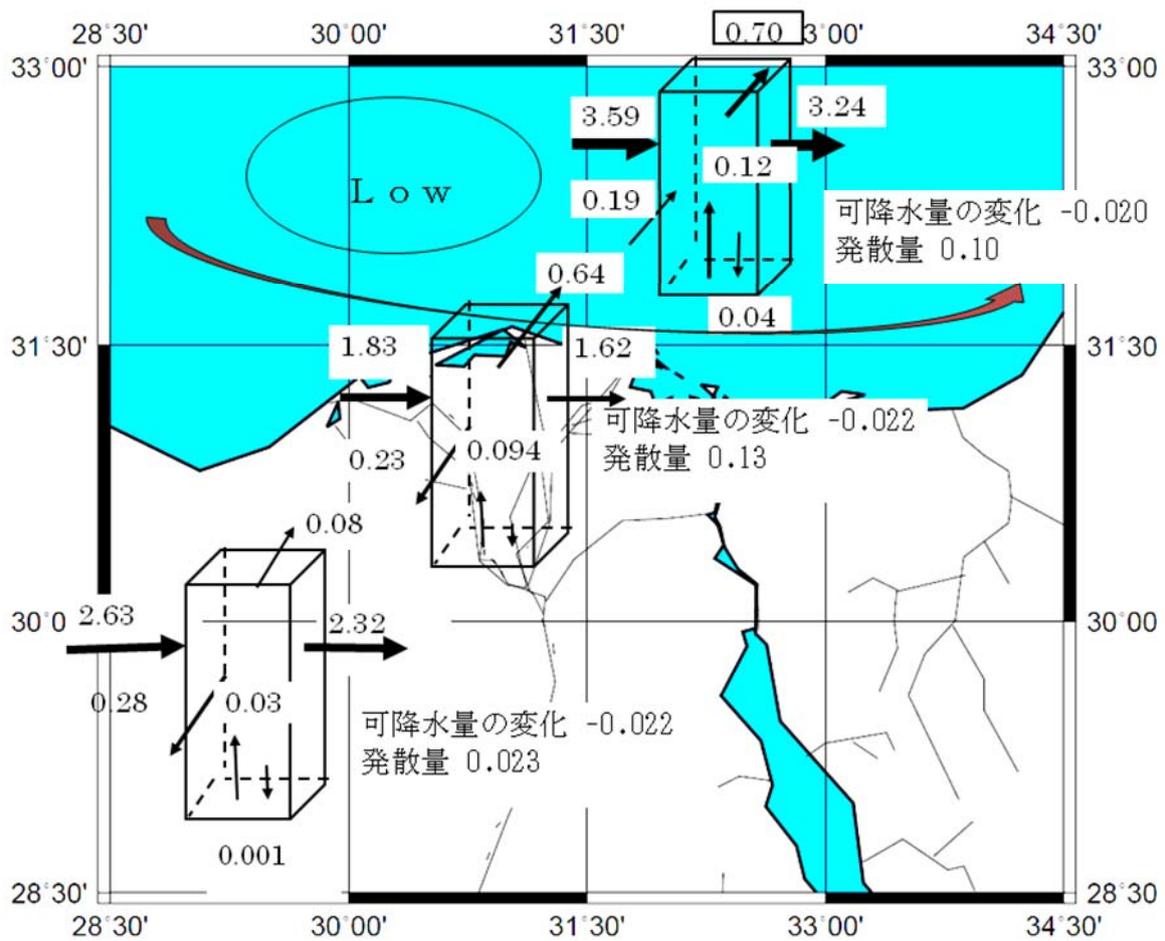


図 197 冬の地域別大気水収支 (2009 年 12 月から 2010 年 2 月平均)

単位は全て mm/hour



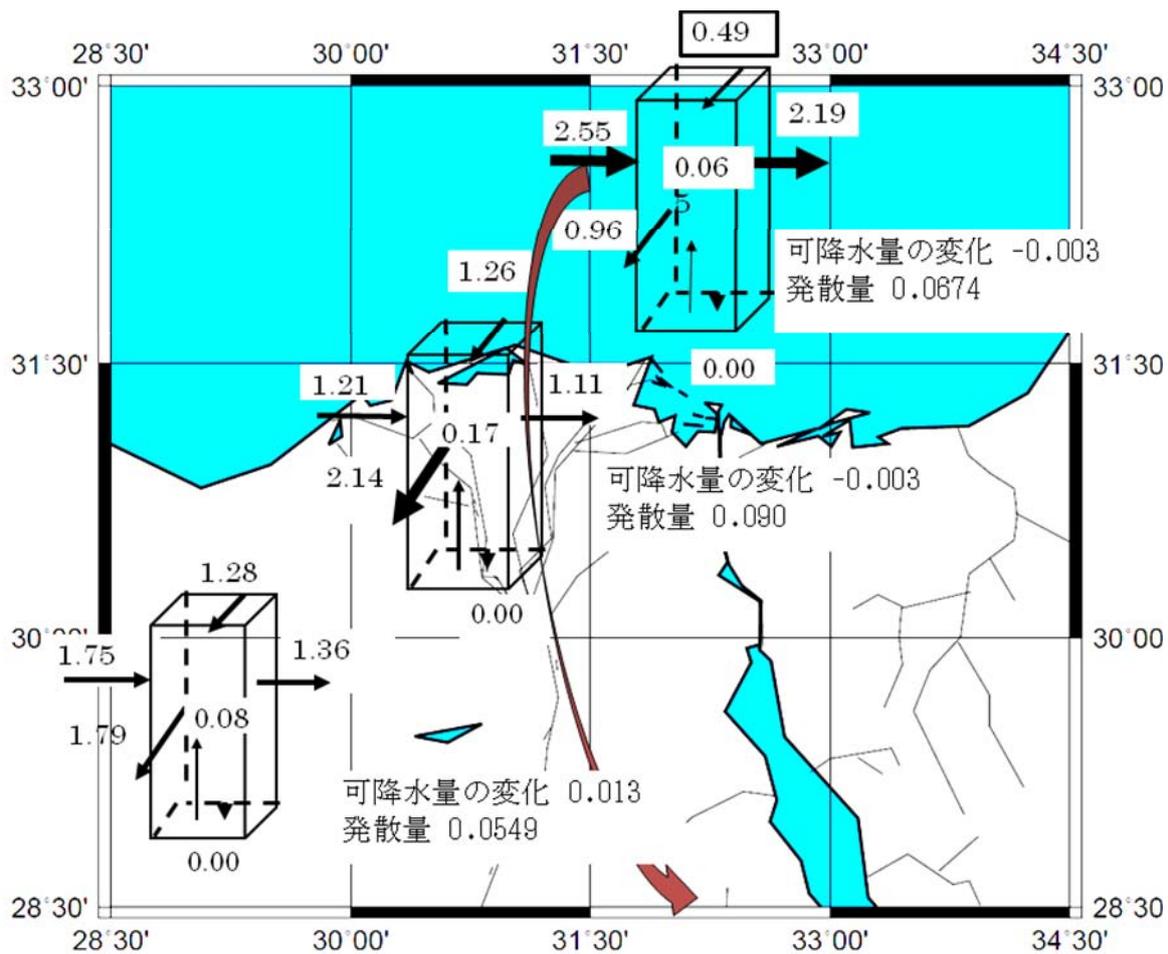


図 199 夏の地域別大気水収支 (2010年6月から8月平均)

単位は全て mm/hour

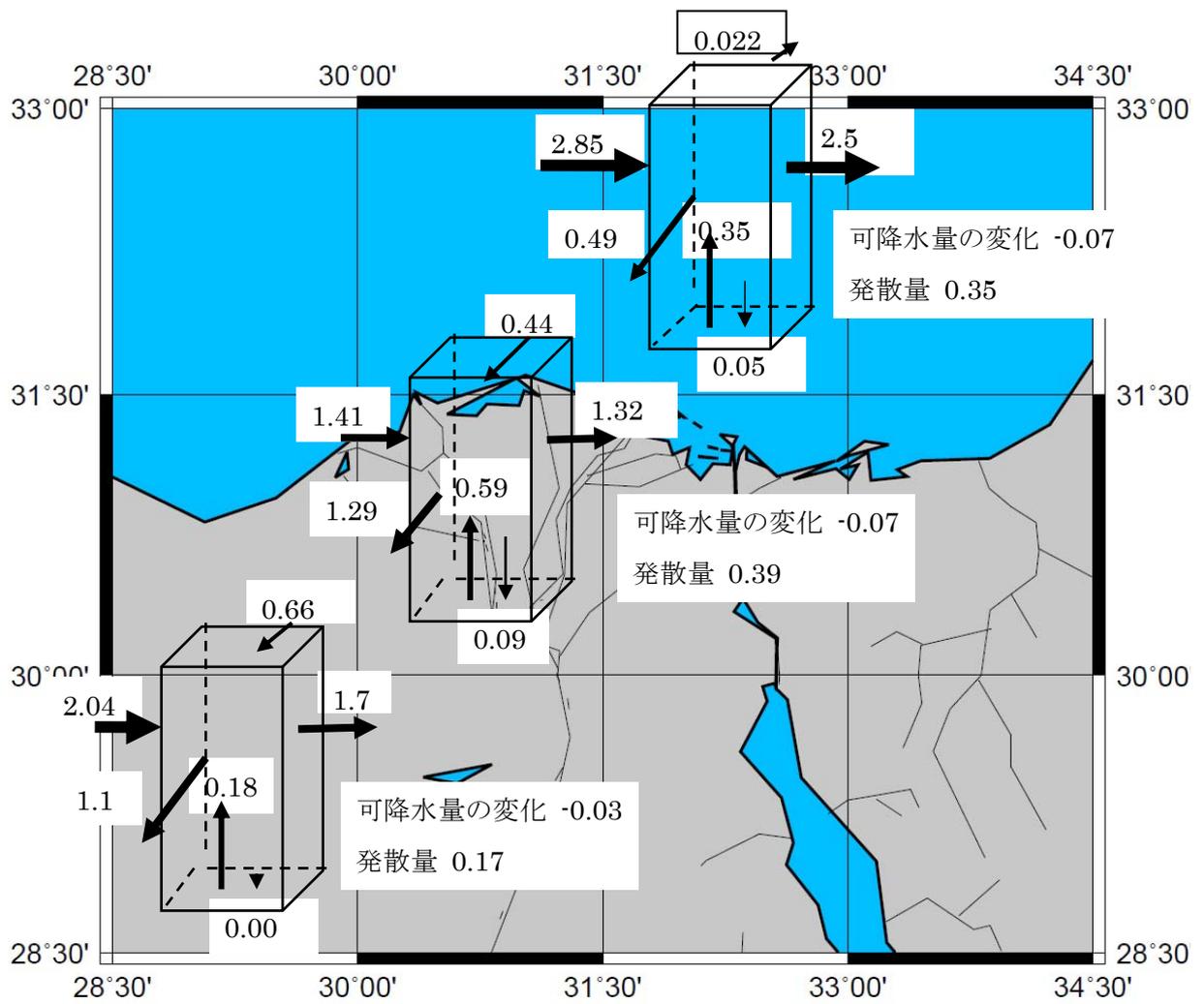


図 200 年間の大気水収支 (平均)

単位は全て mm/hour

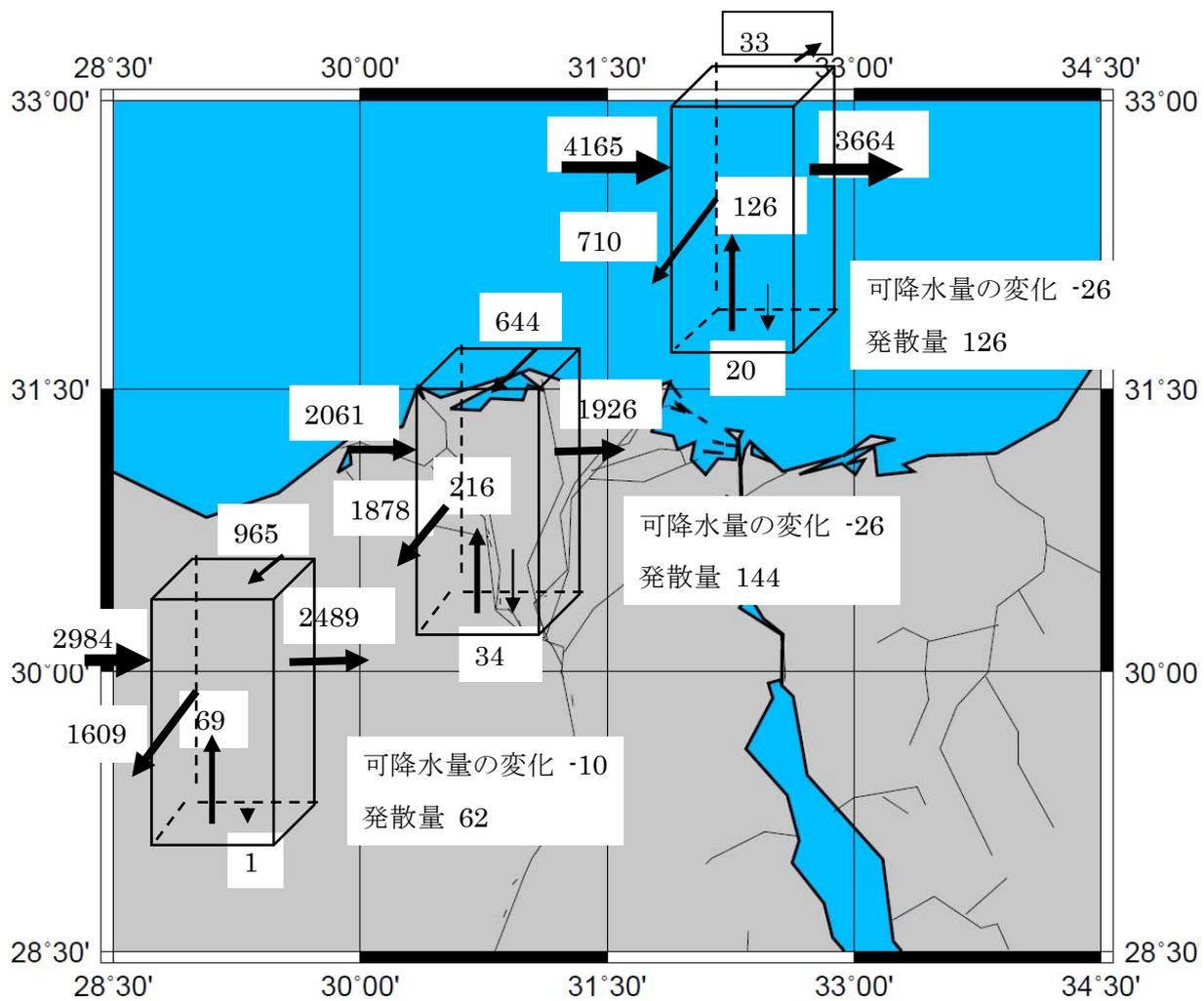


図 201 年間の大気水収支 (積算量)

単位は全て mm/year

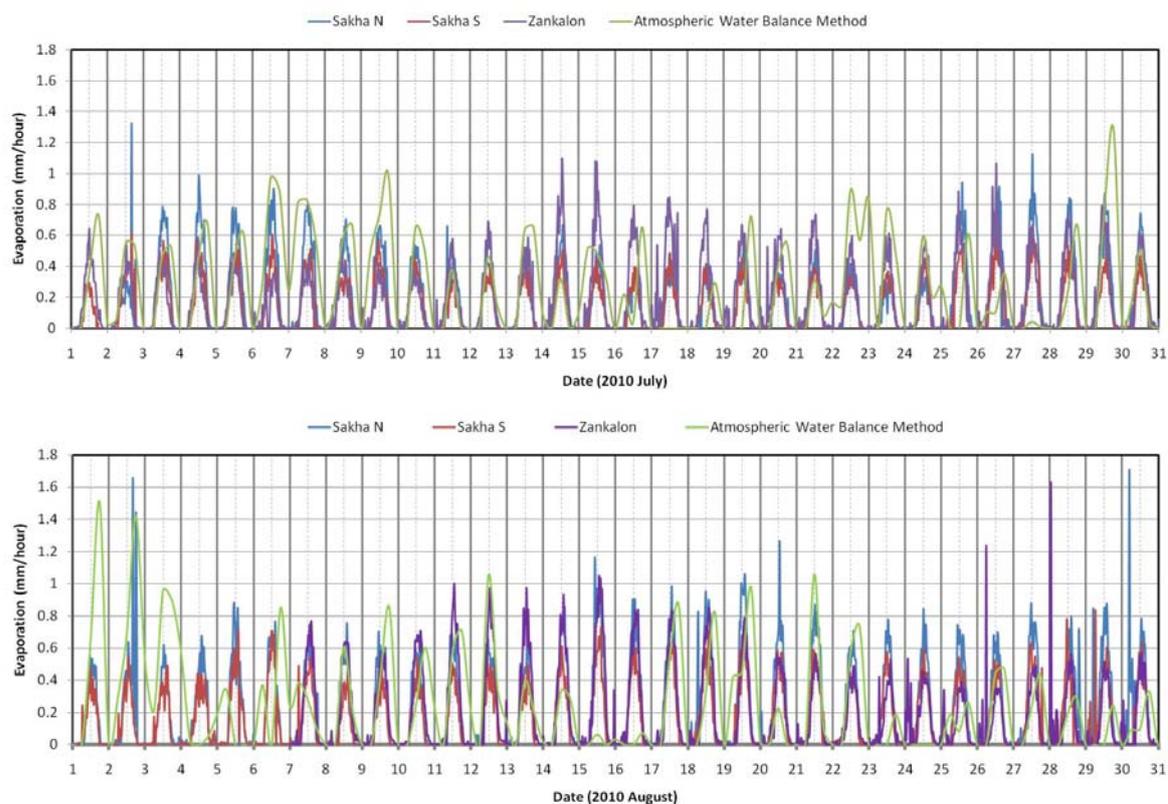


図 202 全自動気象観測装置 (AWS) と大気水収支式による蒸発量の比較 1

Sakha NはSakha 圃場の北側に設置されたAWS, Sakha SはSakha 圃場の南側に設置されたAWS, ZankalonはZankalon 圃場に設置されたAWS, Atmospheric water balance methodは大気水収支法による計算結果 (0 mm/hour 以下を除く) を表す.

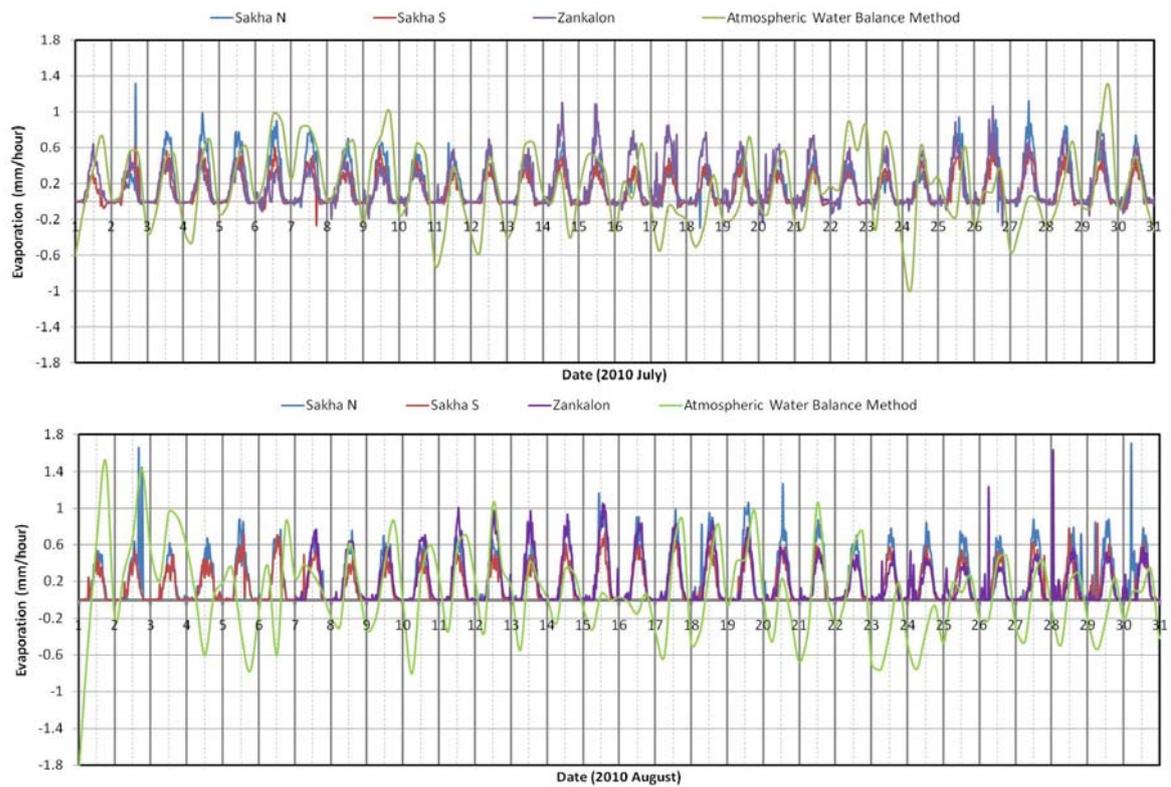


図 203 全自動気象観測装置 (AWS) と大気水収支式による蒸発量の比較 2

Sakha NはSakha 圃場の北側に設置されたAWS, Sakha SはSakha 圃場の南側に設置されたAWS, ZankalonはZankalon 圃場に設置されたAWS, Atmospheric water balance methodは大気水収支法による計算結果 (0 mm/hour 以下を含む) を表す。

表 44 蒸発散量積算 (mm)

ただし9月のSakha Nは9/1 0:00 から9/29 11:00 までの蒸発積算量, 大気水収支法で出した蒸発散量は2009年のものである。

	Zankalon	Sakha N	Sakha S	大気水収支法 (0 以下除去)	大気水収支法 (0 以下あり)
July	129		91	193	124
August	123	156	98	174	37
September		105		131	4

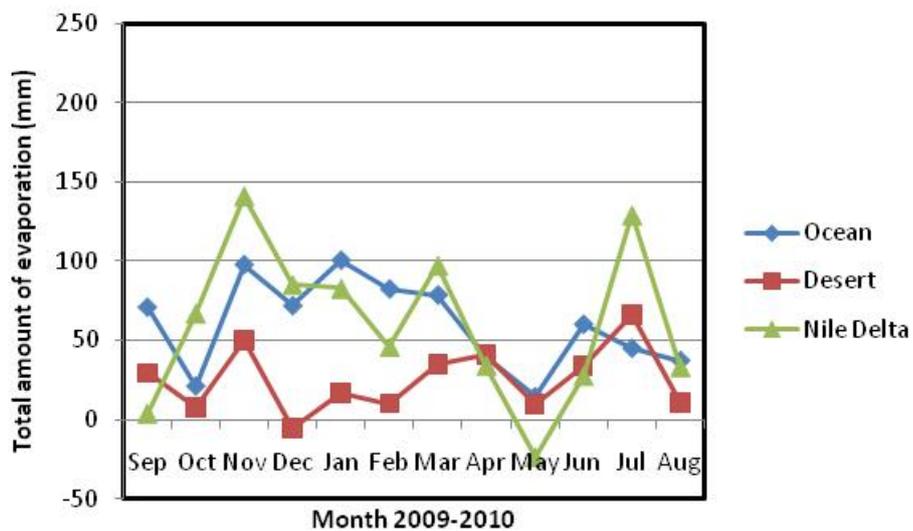
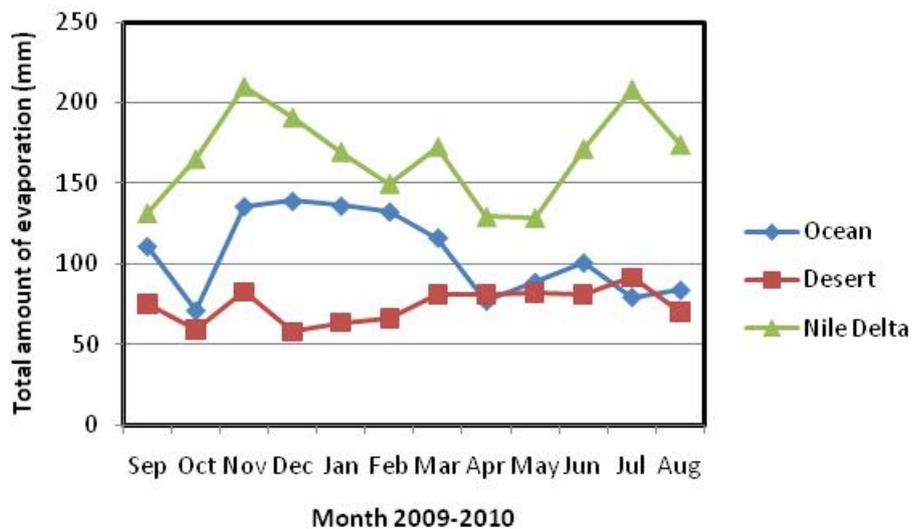


図 204 大気水収支法で求めた蒸発積算量の月変化

上が 0 mm/hour 以下を 0 mm/hour としたもので、下が 0mm /hour 以下をそのまま計算に用いたものである

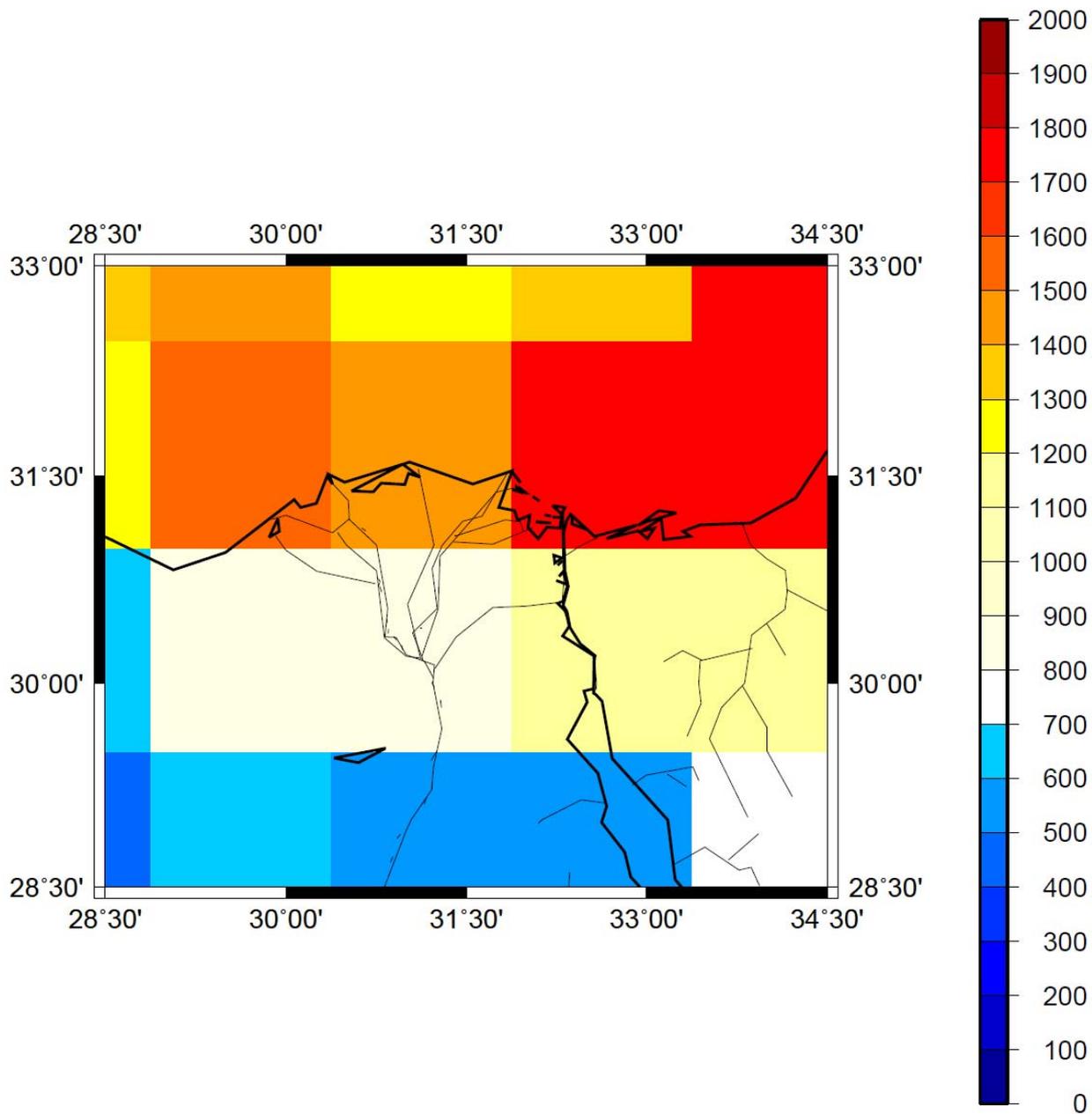


図 205 大気水収支法で求めた蒸発量の分布 (2009 年 9 月から 2010 年 8 月の積算量)  
 0 mm/hour 以下になったものは 0 mm/hour とした. 単位は mm/year

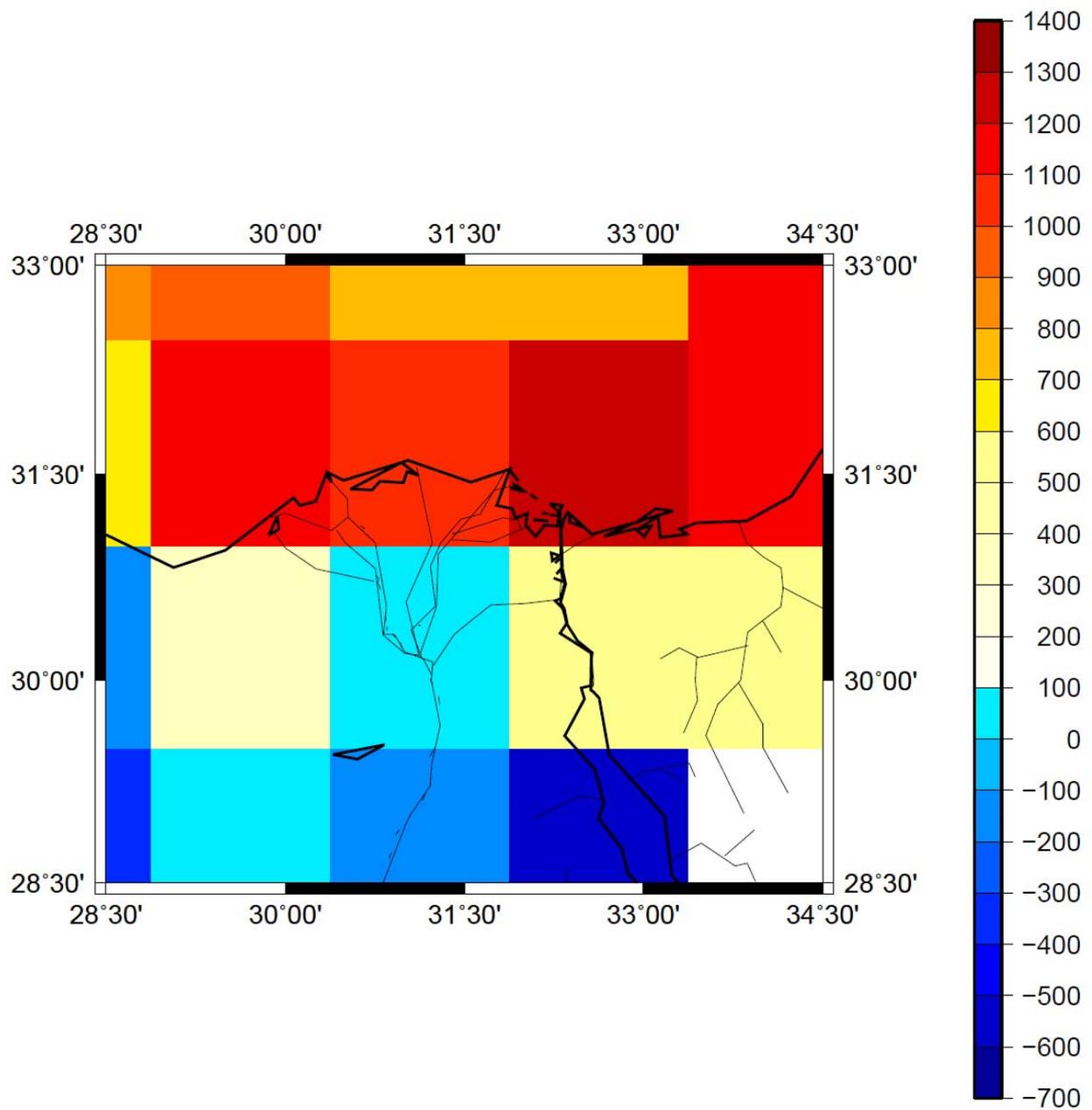
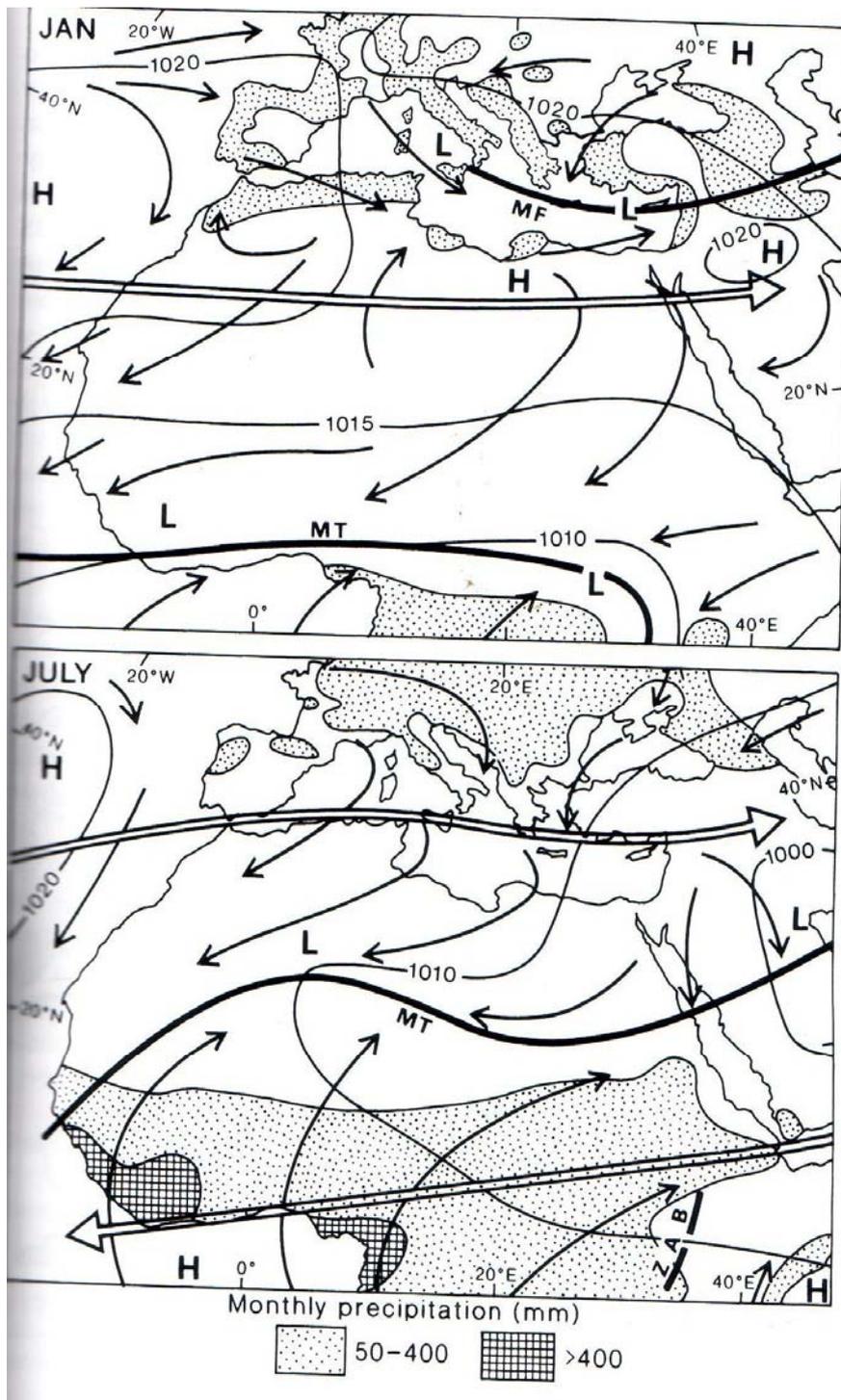


図 206 大気水収支法で求めた蒸発量の分布 (2009年9月から2010年8月の積算量)  
 0 mm/hour 以下になったものはそのままにして計算. 単位は mm/year



**Figure 10.26** The distribution of surface pressure, winds and precipitation for the Mediterranean and North Africa during January and July. The average positions of the subtropical westerly and tropical easterly jet streams, together with the monsoon trough (MT), the Mediterranean front (MF) and the Zaire air boundary (ZAB), are also shown.

Source: Partly after *Weather in the Mediterranean* (HMSO, 1962) (Crown Copyright Reserved).

図 207 地中海周辺の風系

Atmosphere, Weather and Climate (Barry and Chorley, 2003) pp.243 より抜粋

6. その後の解析（雲プロダクトの変更と大気水収支の計算方法の変更）

上記では ECMWF Cloud Cover を用いて雲分布を特定したが、Eumetsat が Meteosat Second Generation というプロジェクトの一環として打ち上げられた Meteosat 9 により配布されている Cloud Analysis より雲分布を特定する。結果、全体としての傾向（冬に最も雲が多い、海側に多い）は ECMWF のプロダクトと変わらなかったが、ピクセルが細かくなったことでナイルデルタと他地域での雲量の差が明確になった。特に夏の午前中にナイルデルタ上空で雲が多いのが顕著になった。また大気水収支式の計算方法を修正して再計算を行ったが、こちらも全体としての傾向は大きくは変わらなかった。

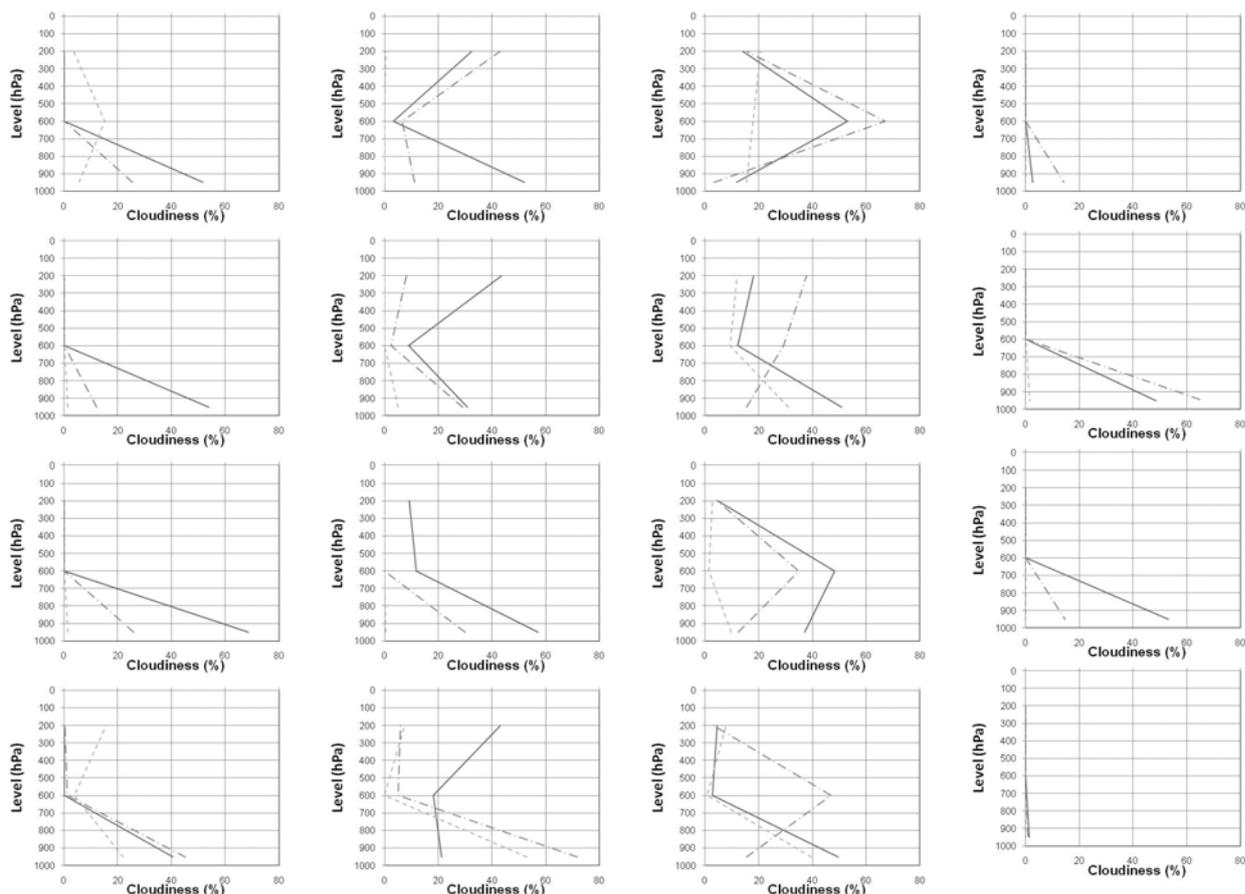


図 208 高度別雲量 (%)

左列より 2009 年 10 月 22 日, 2010 年 1 月 11 日, 5 月 18 日, 8 月 8 日

上より 0045 UTC, 0645 UTC, 1245 UTC, 1845 UTC

実線は海, 点線は砂漠, 点実線はナイルデルタ

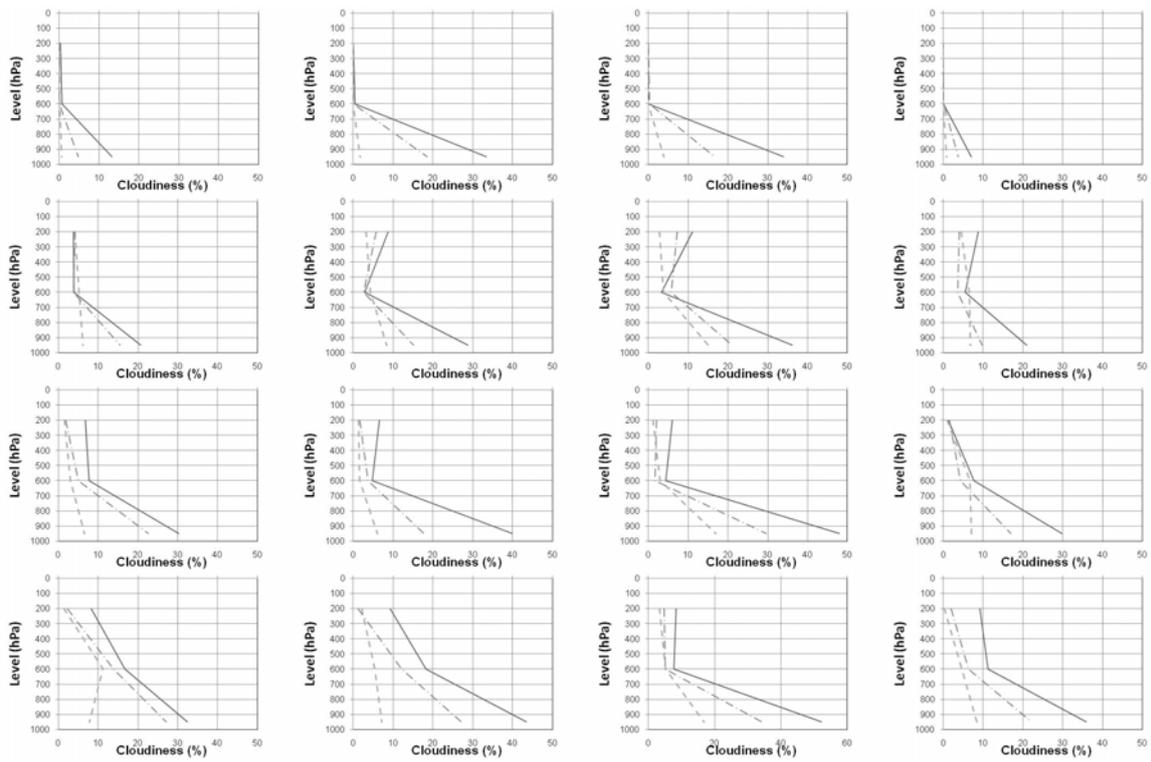


図 209 高度別雲量 (%)

左列より 2009 年 9 月, 10 月, 11 月, 12 月

上より 0045 UTC, 0645 UTC, 1245 UTC, 1845 UTC

実線は海, 点線は砂漠, その他の線はナイルデルタ

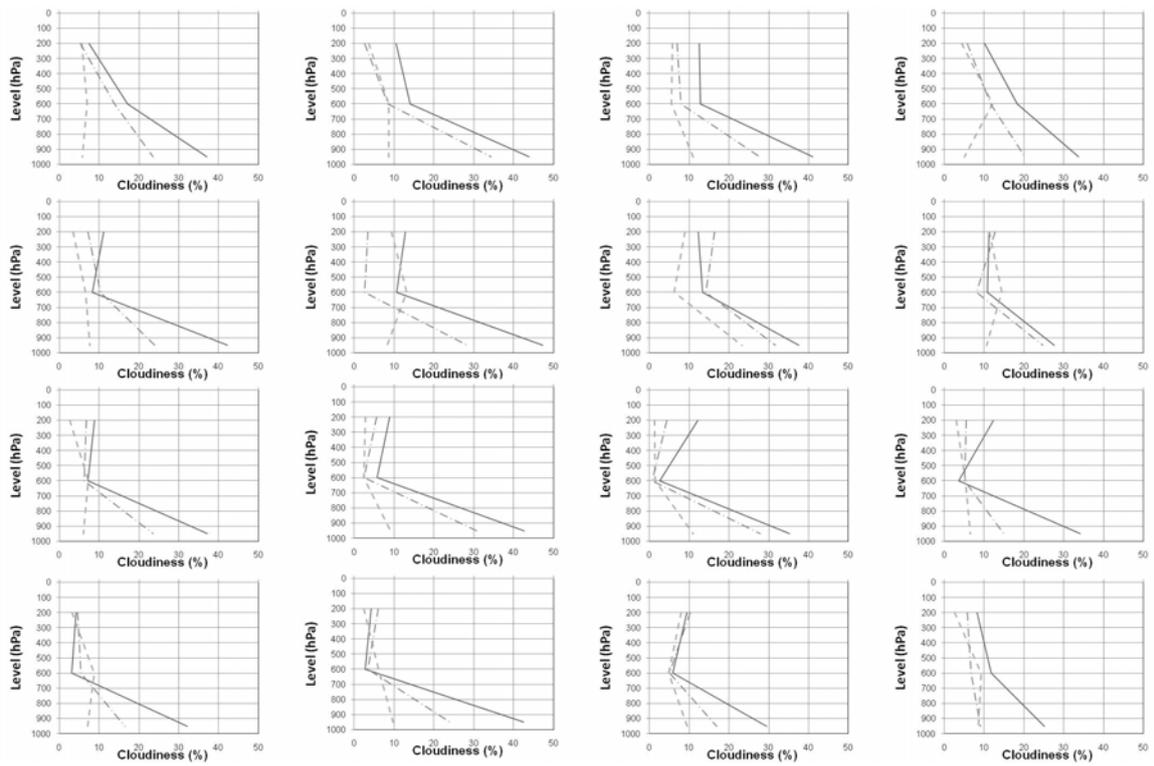


図 210 高度別雲量 (%)

左列より 2010 年 1 月, 2 月, 3 月, 4 月

上より 0045 UTC, 0645 UTC, 1245 UTC, 1845 UTC

実線は海, 点線は砂漠, 点実線はナイルデルタ

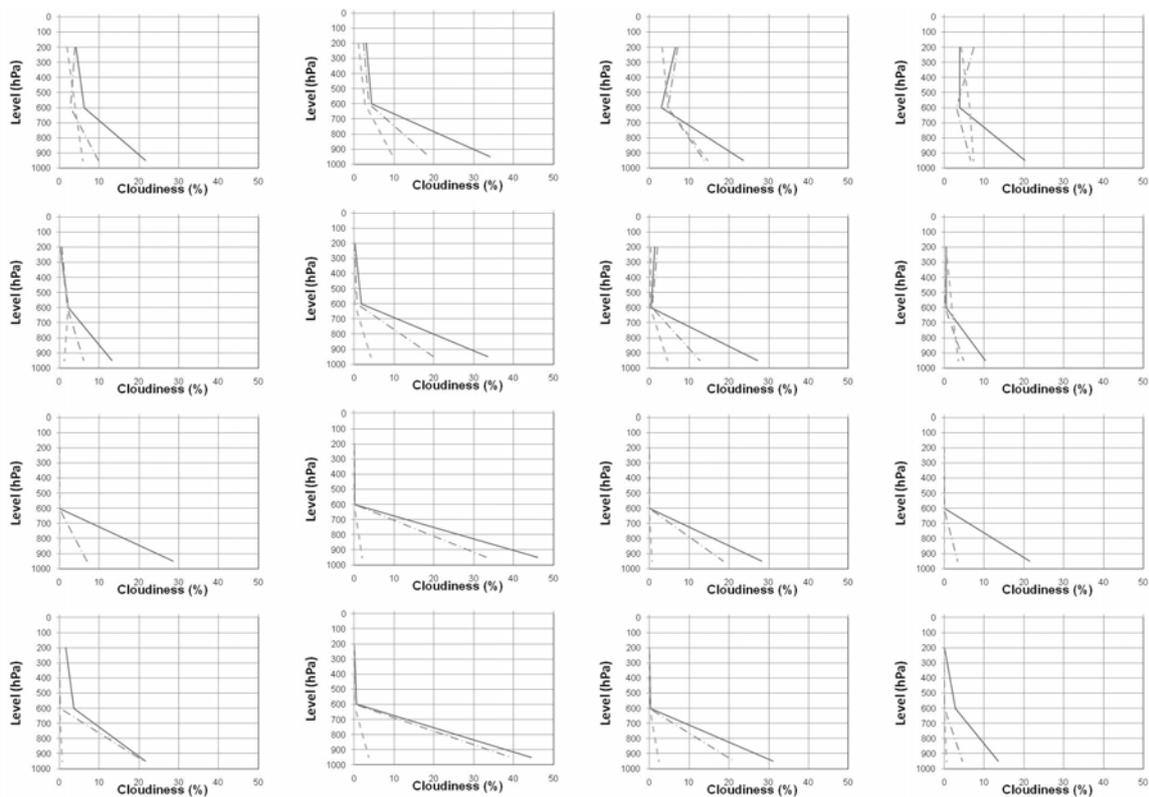


図 211 高度別雲量 (%)

左列より 2010 年 5 月, 6 月, 7 月, 8 月

上より 0045 UTC, 0645 UTC, 1245 UTC, 1845 UTC

実線は海, 点線は砂漠, 点実線はナイルデルタ

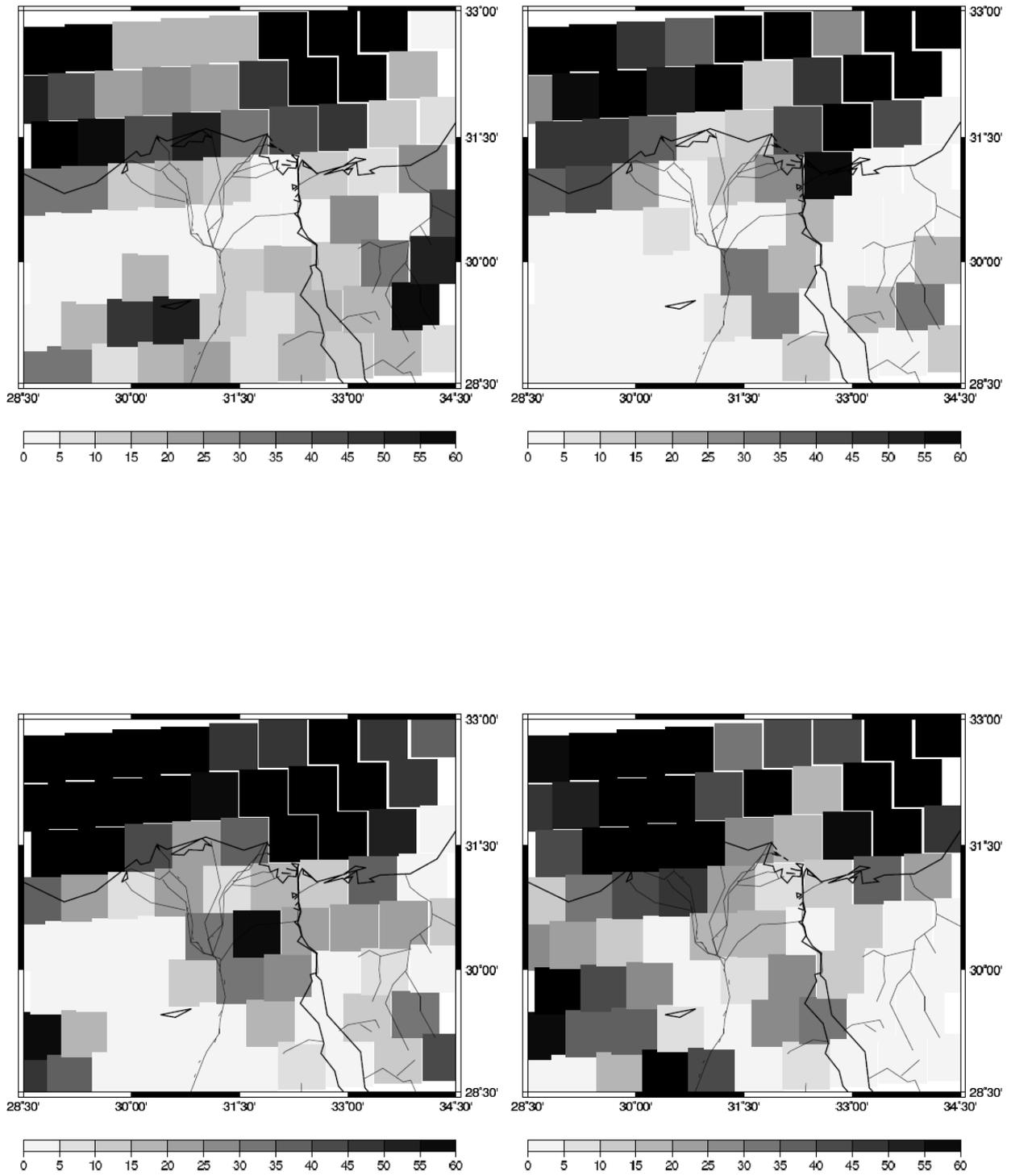


図 212 下層雲の分布 (2009年10月22日)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

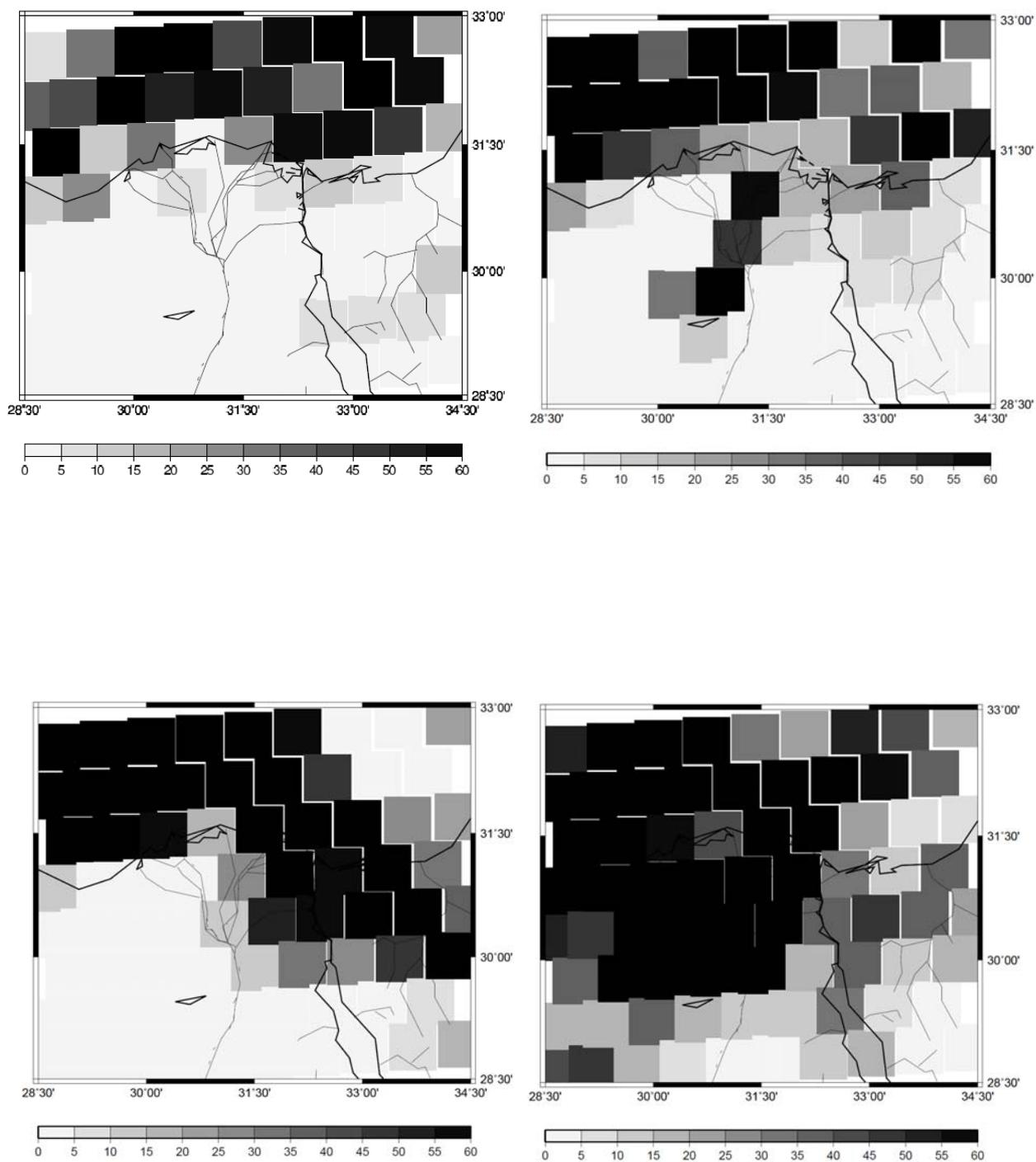


図 213 下層雲の分布 (2010年1月11日)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

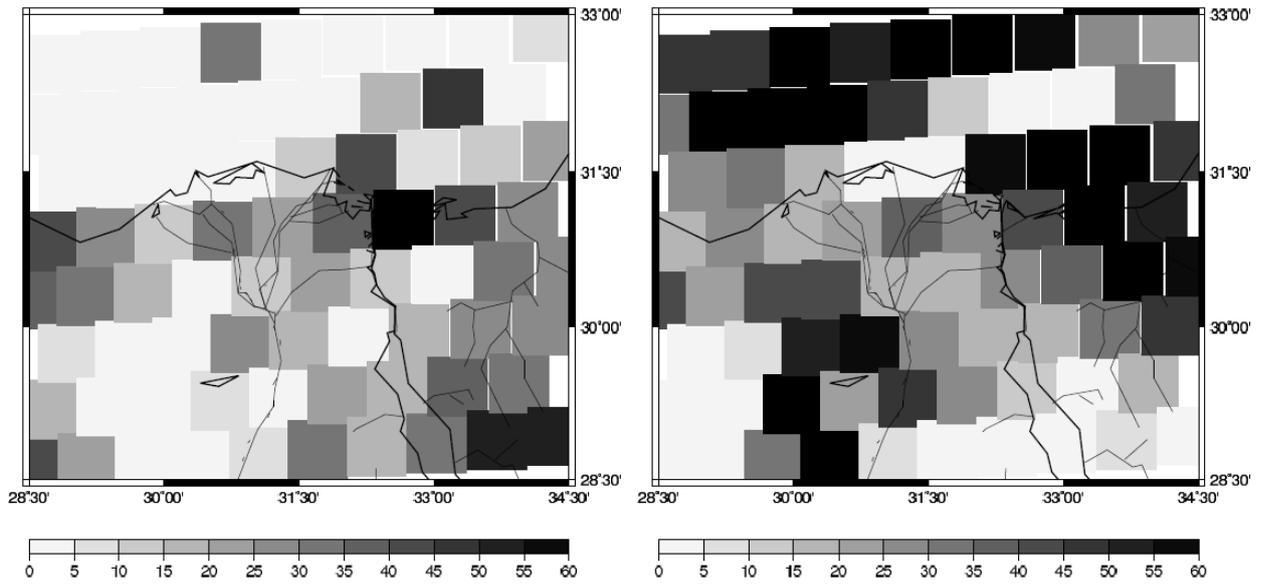
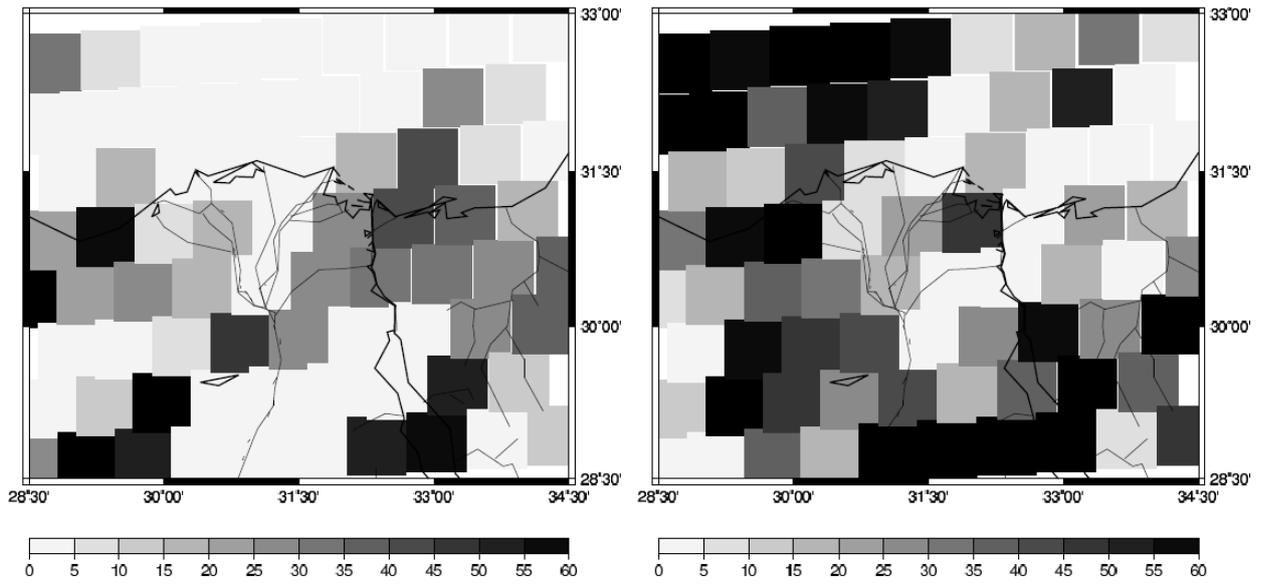


図 214 下層雲の分布 (2010年5月18日)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

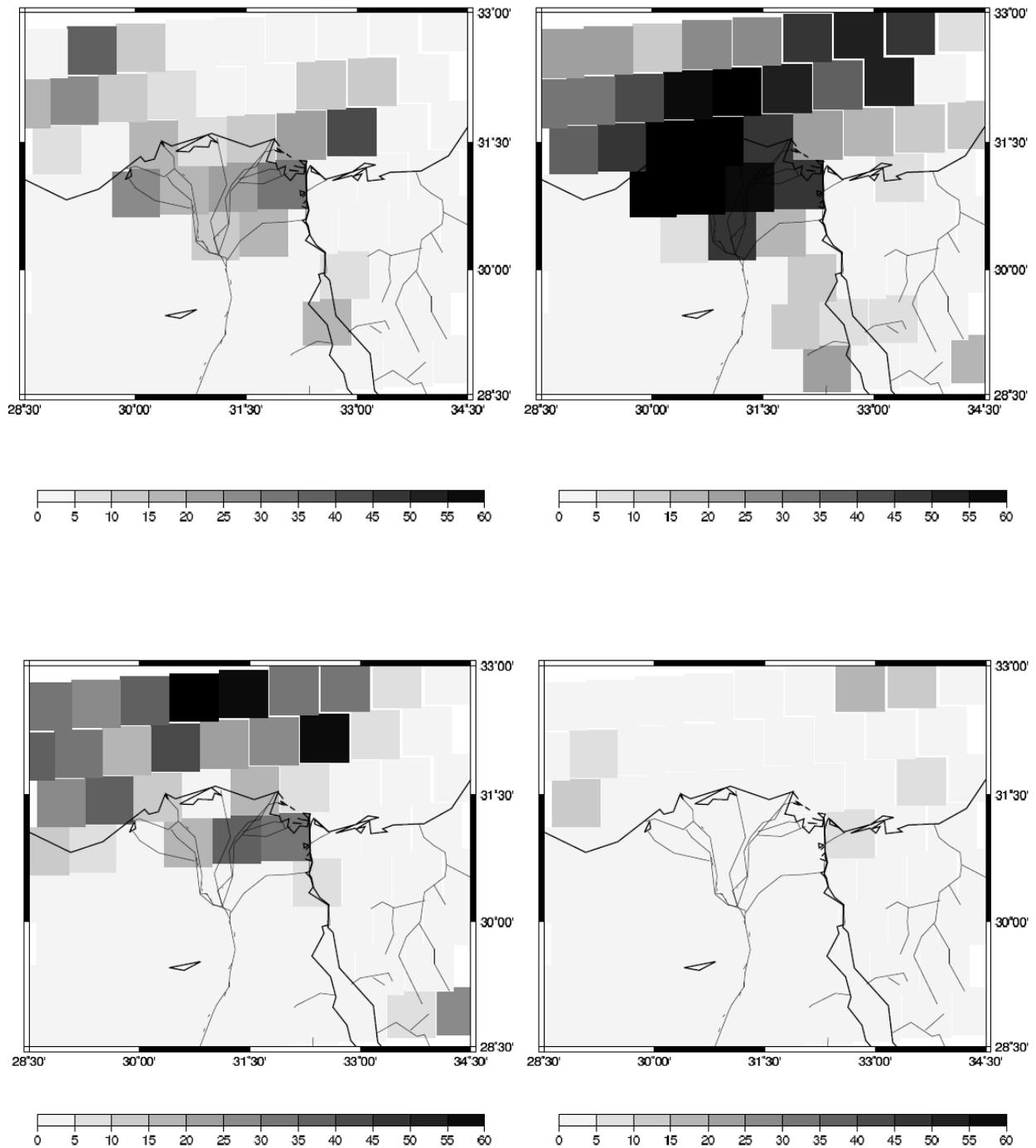


図 215 下層雲の分布 (2010年8月8日)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

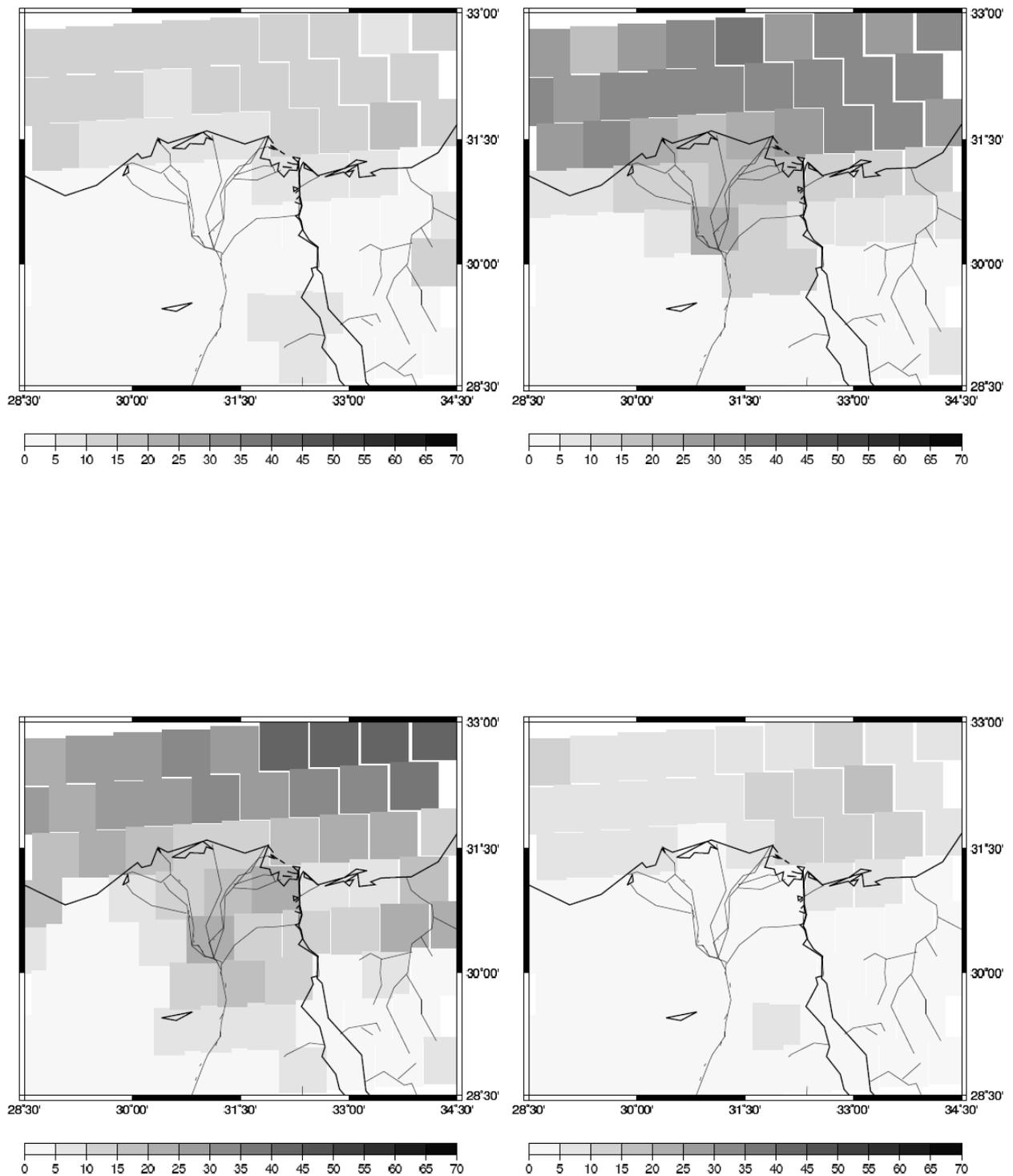


図 216 下層雲の分布 (2009 年 9 月平均)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

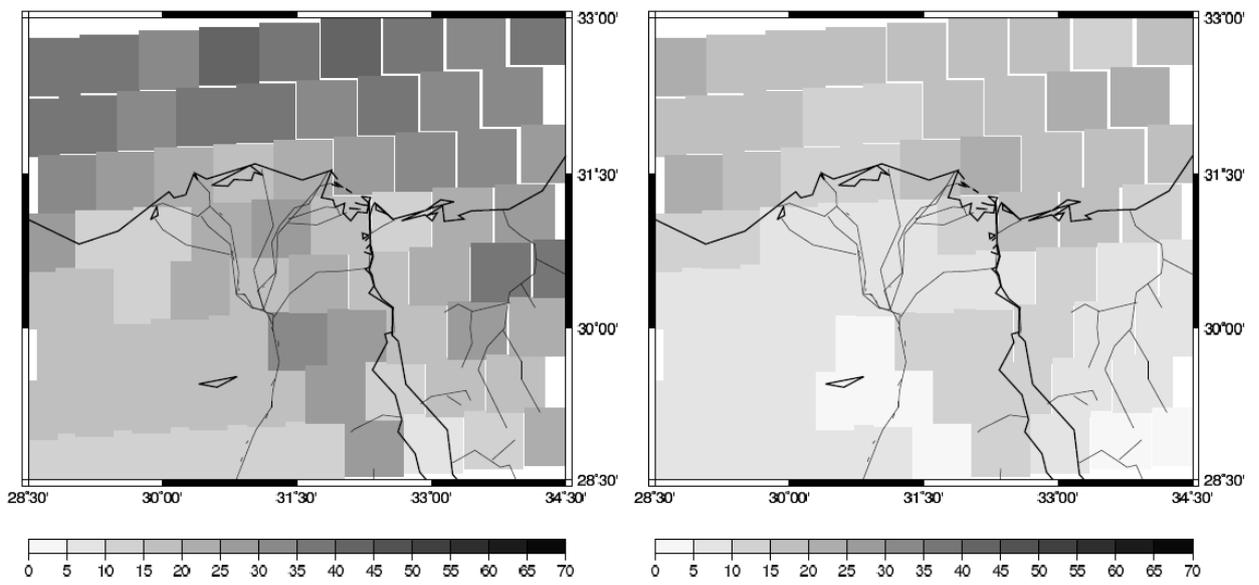
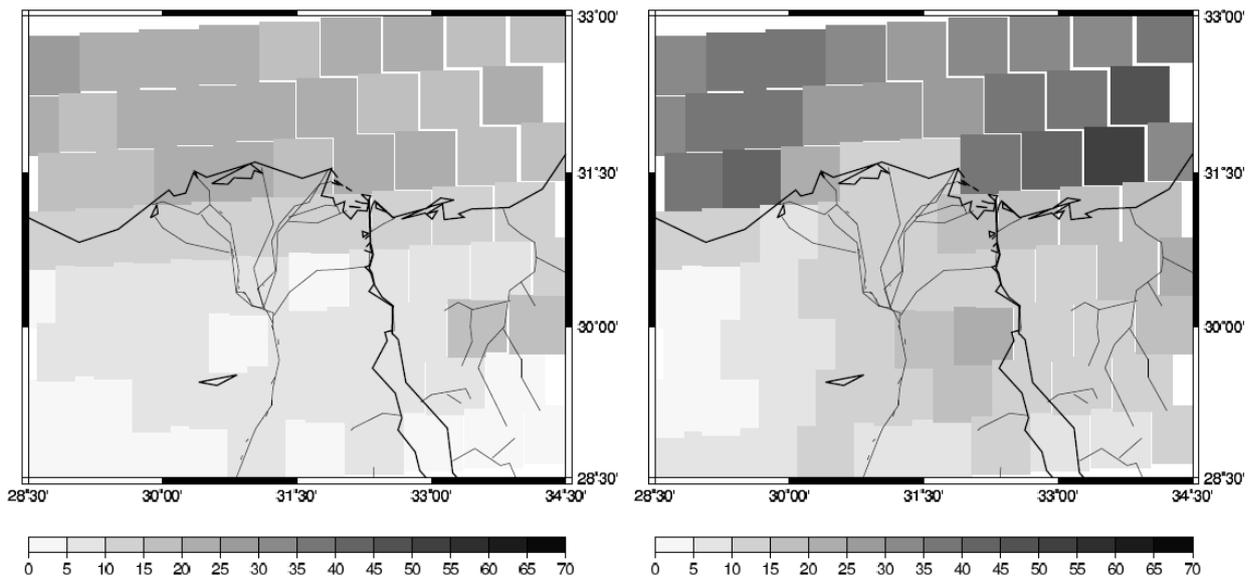


図 217 下層雲の分布 (2009 年 10 月平均)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

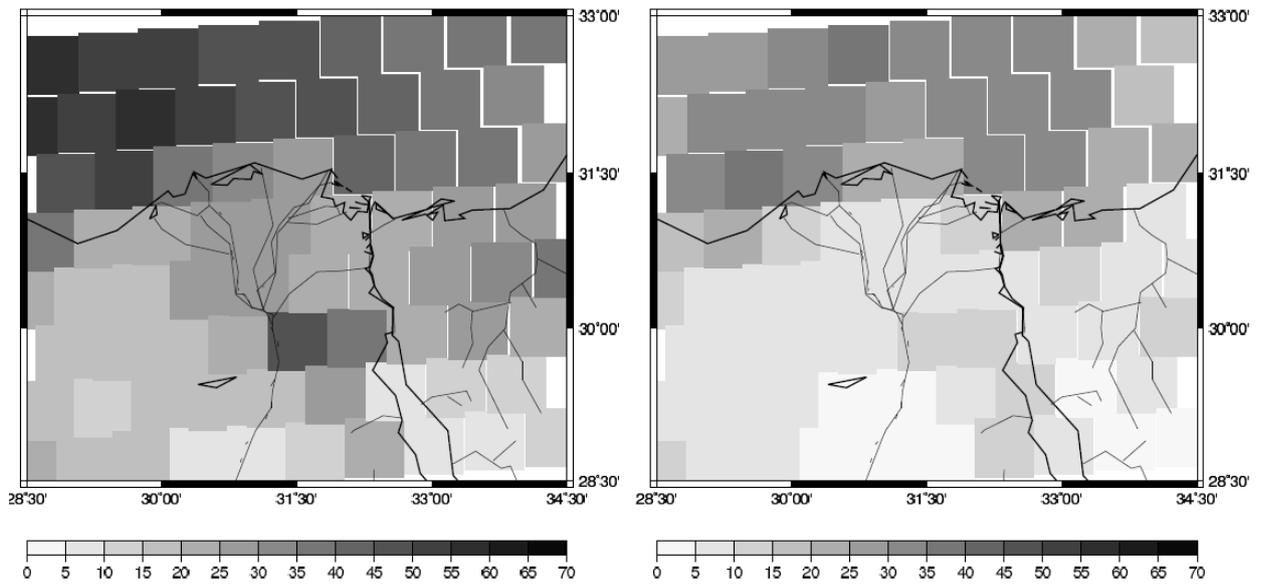
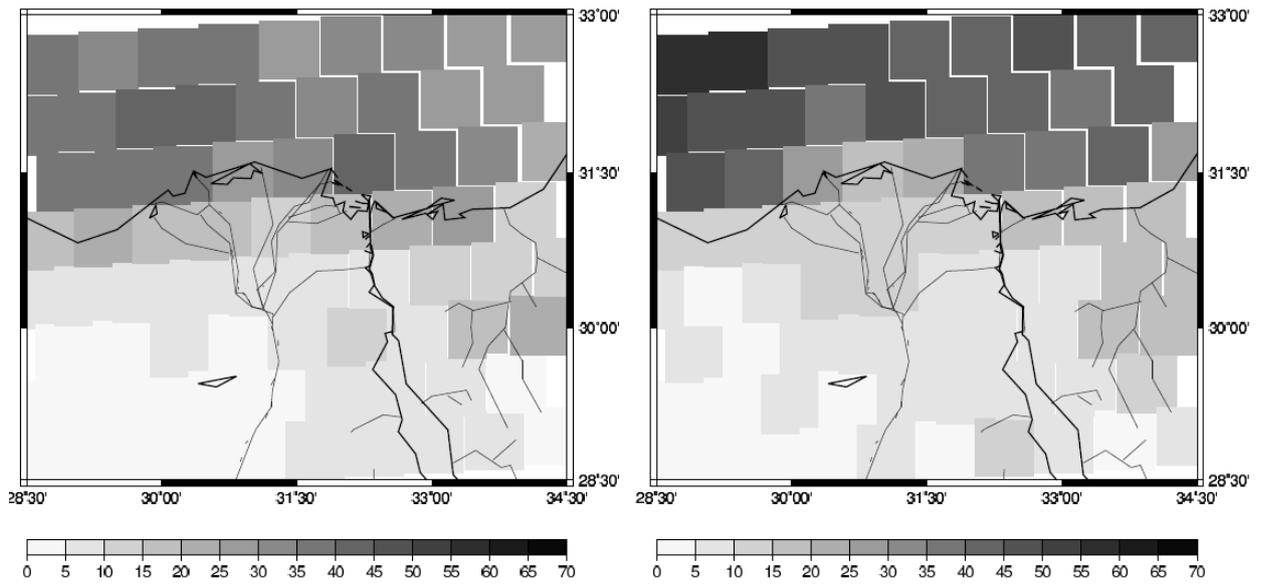


図 218 下層雲の分布 (2009年11月平均)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

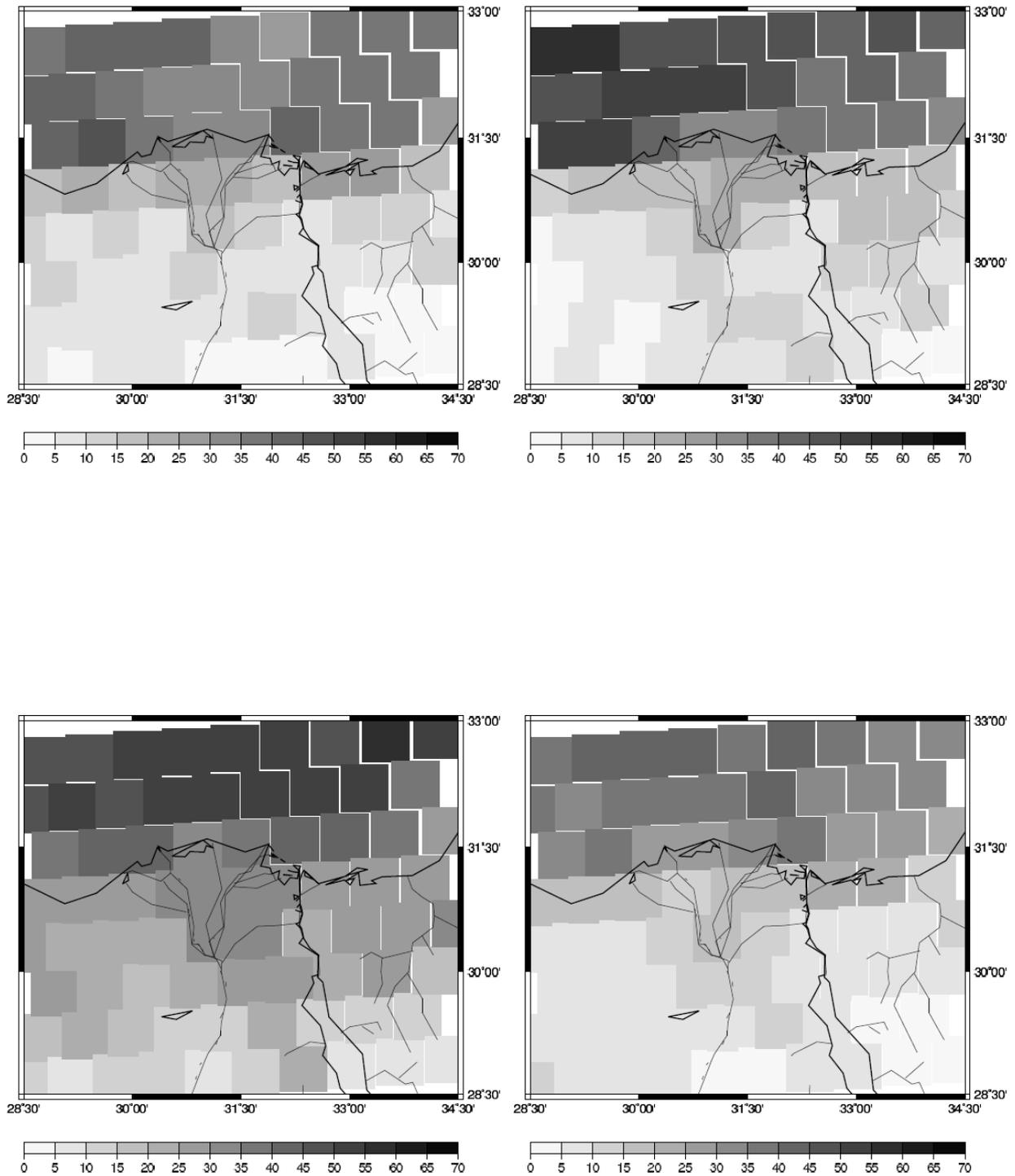


図 219 下層雲の分布 (2009年12月平均)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

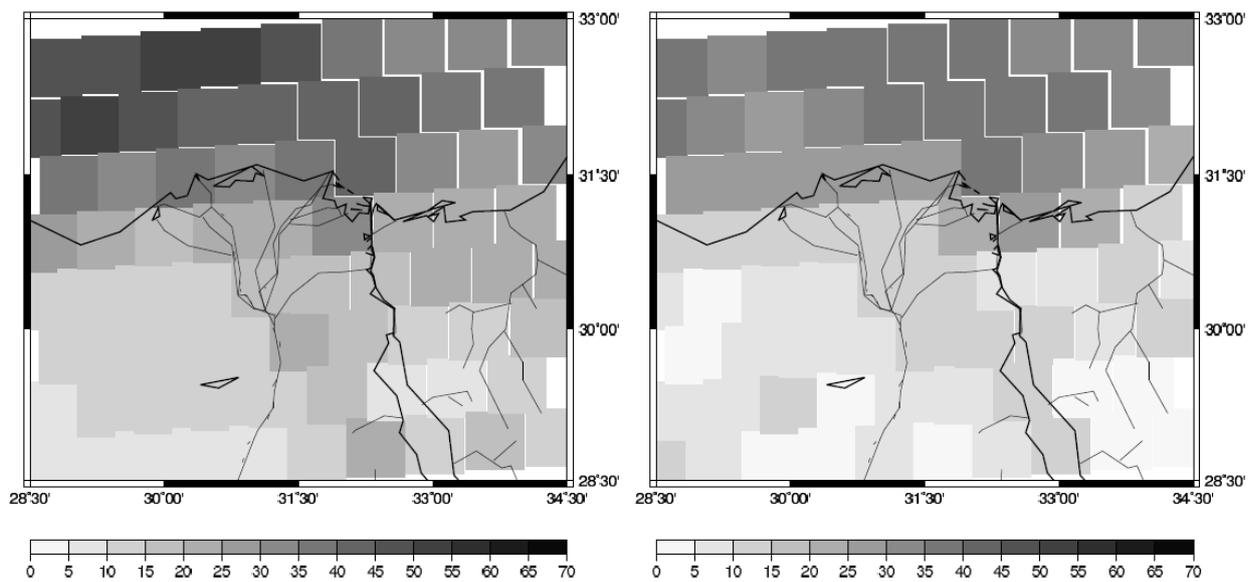
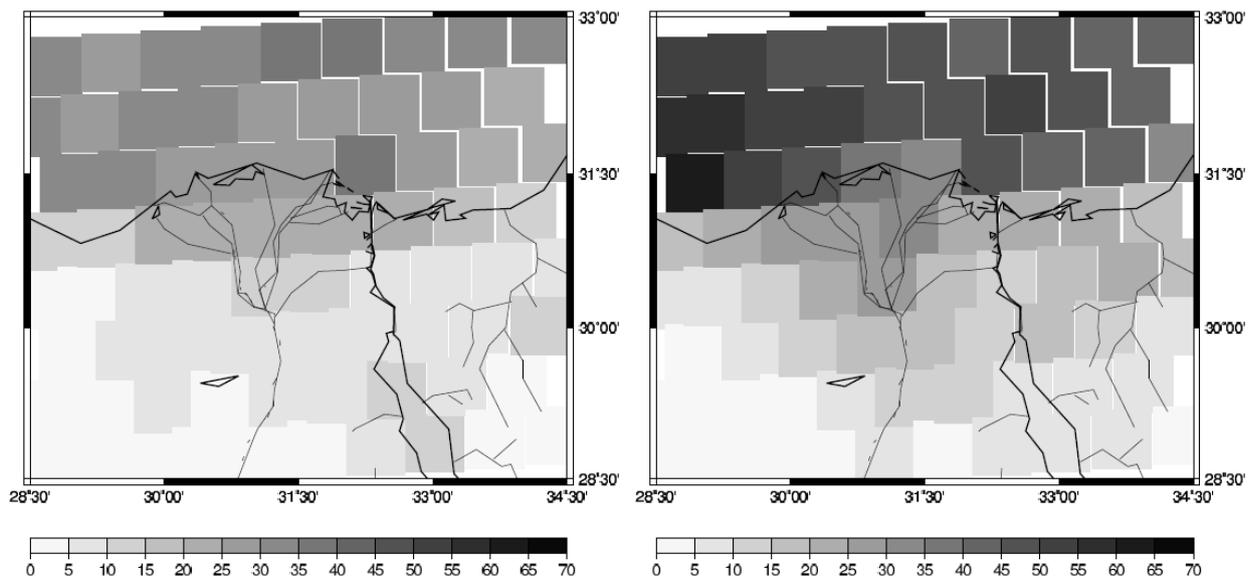


図 220 下層雲の分布 (2010 年 1 月平均)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

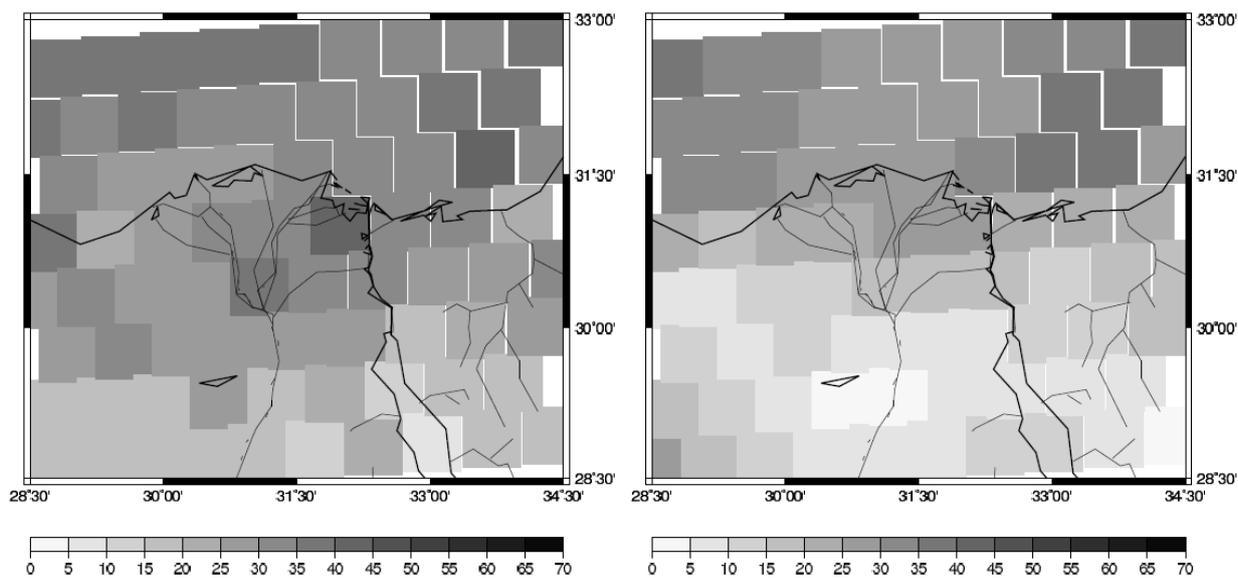
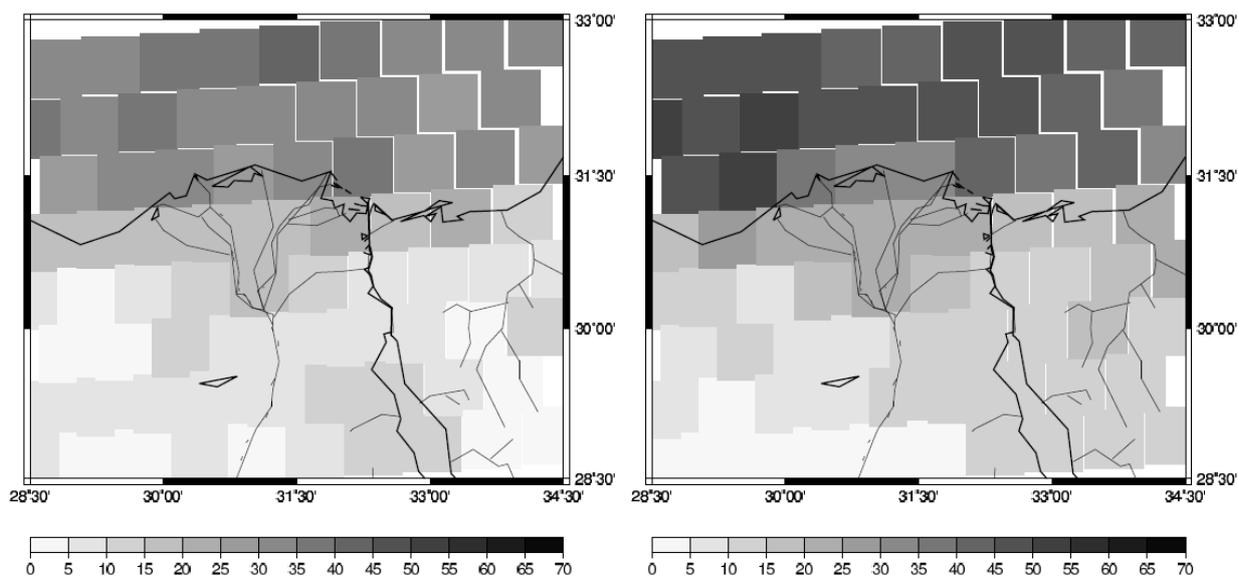


図 221 下層雲の分布 (2010 年 2 月平均)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

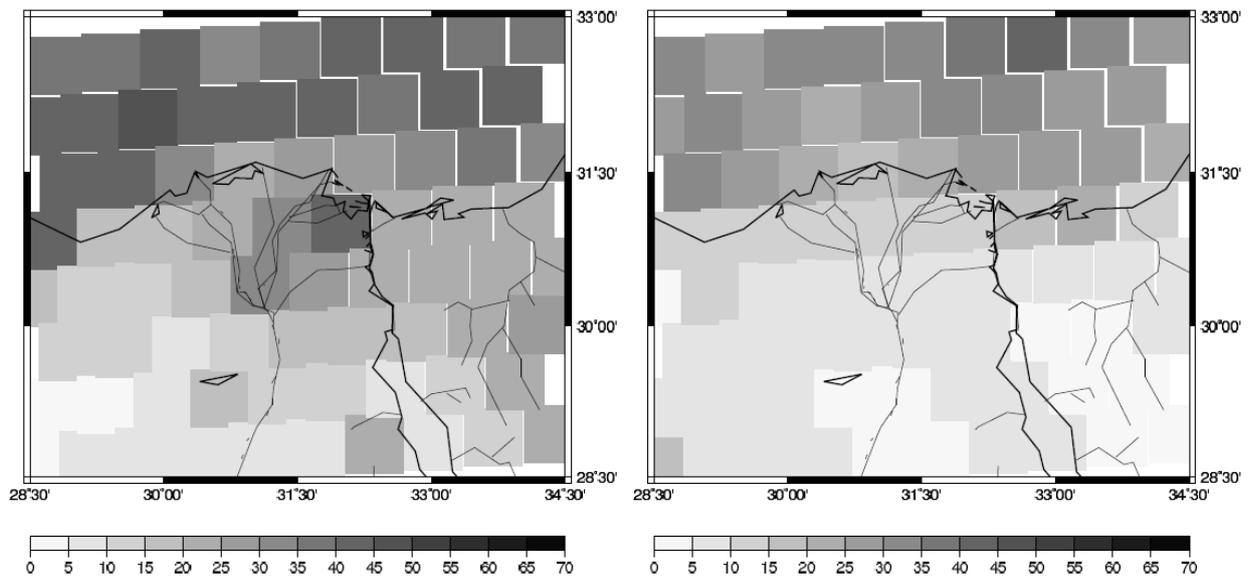
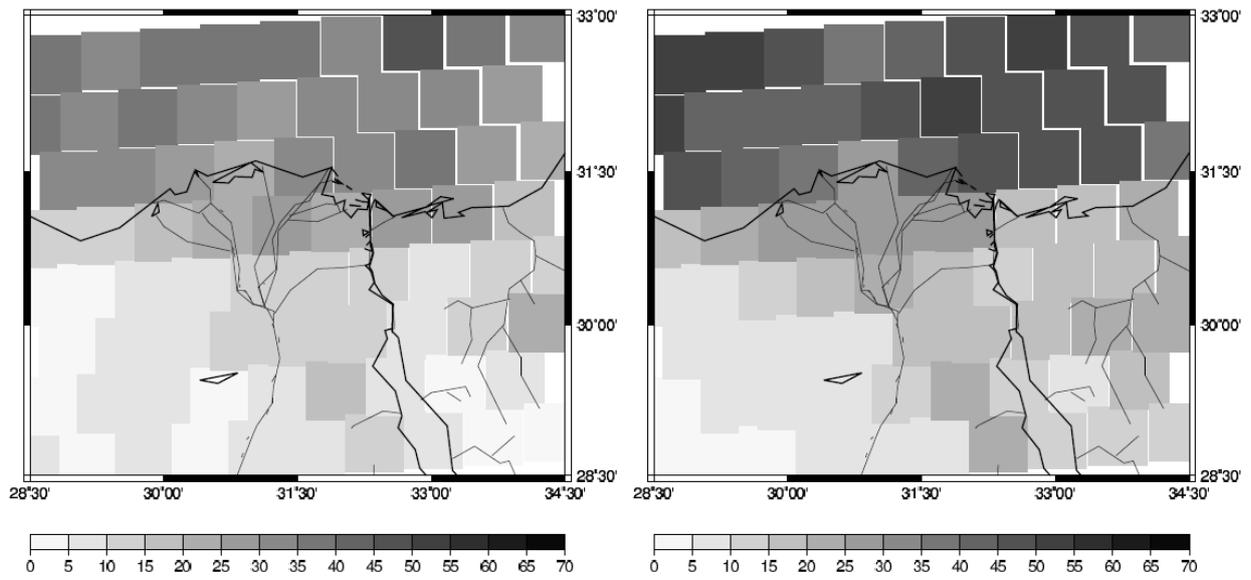


図 222 下層雲の分布 (2010 年 3 月平均)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

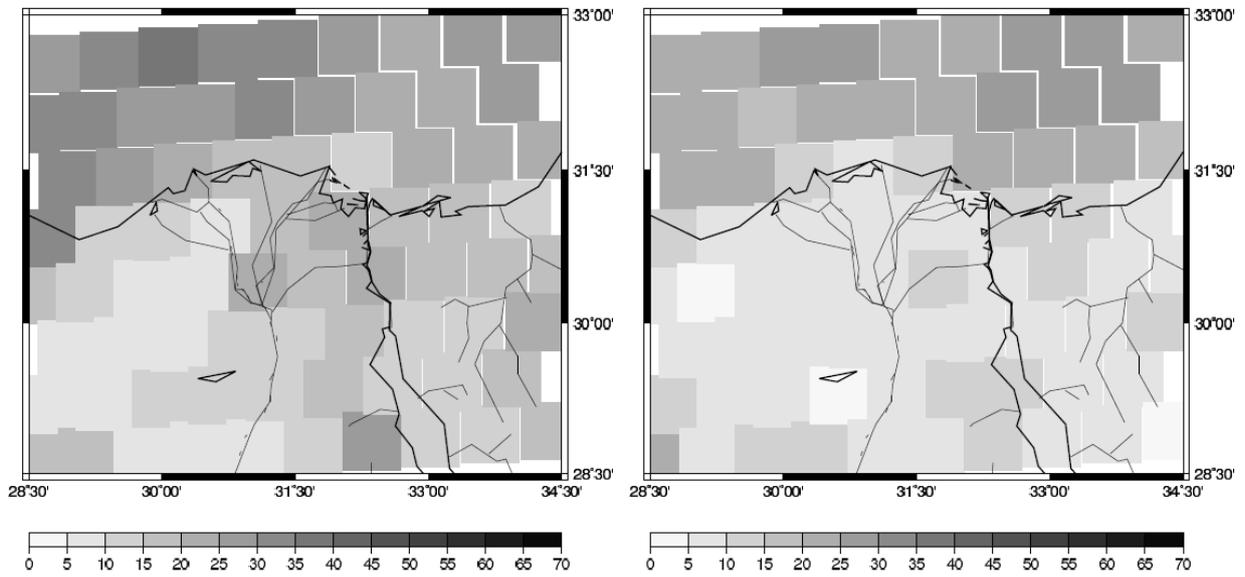
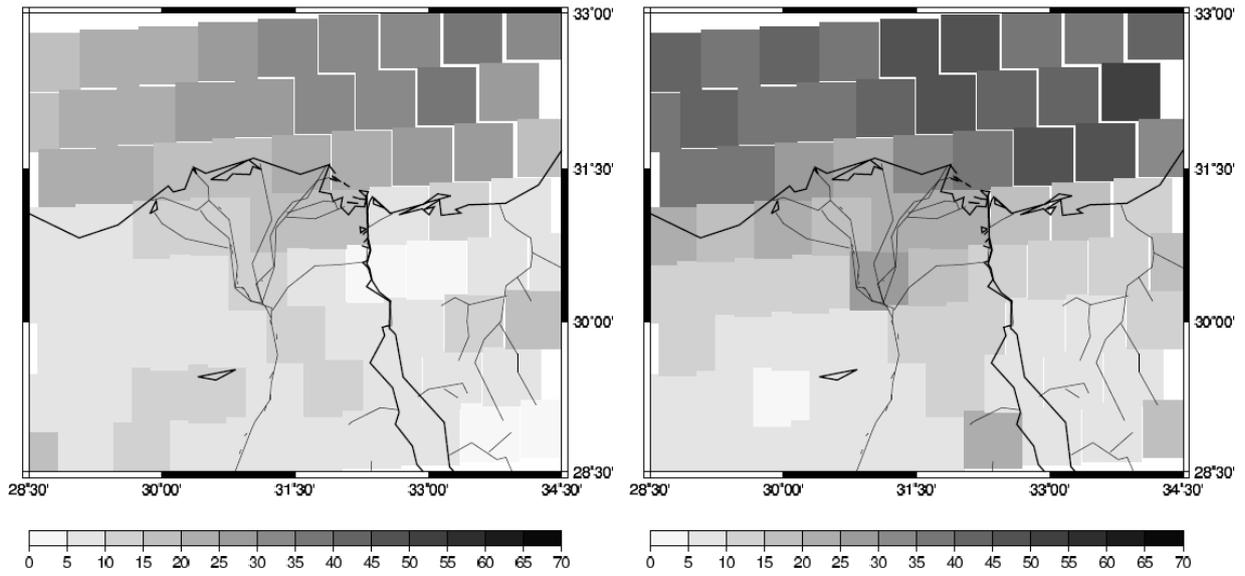


図 223 下層雲の分布 (2010 年 4 月平均)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

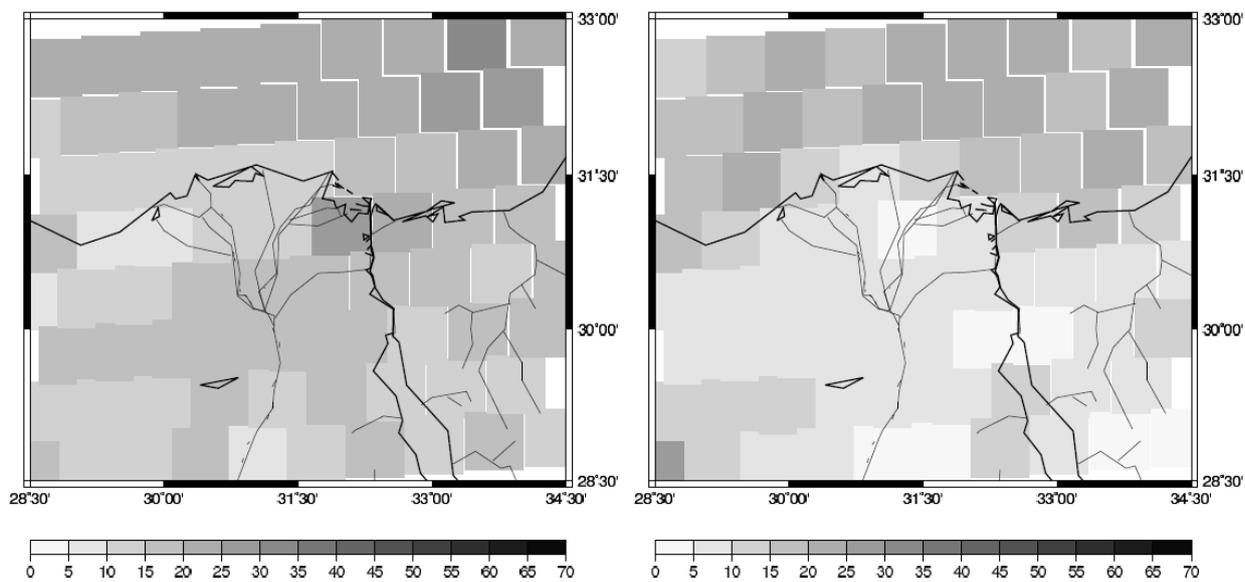
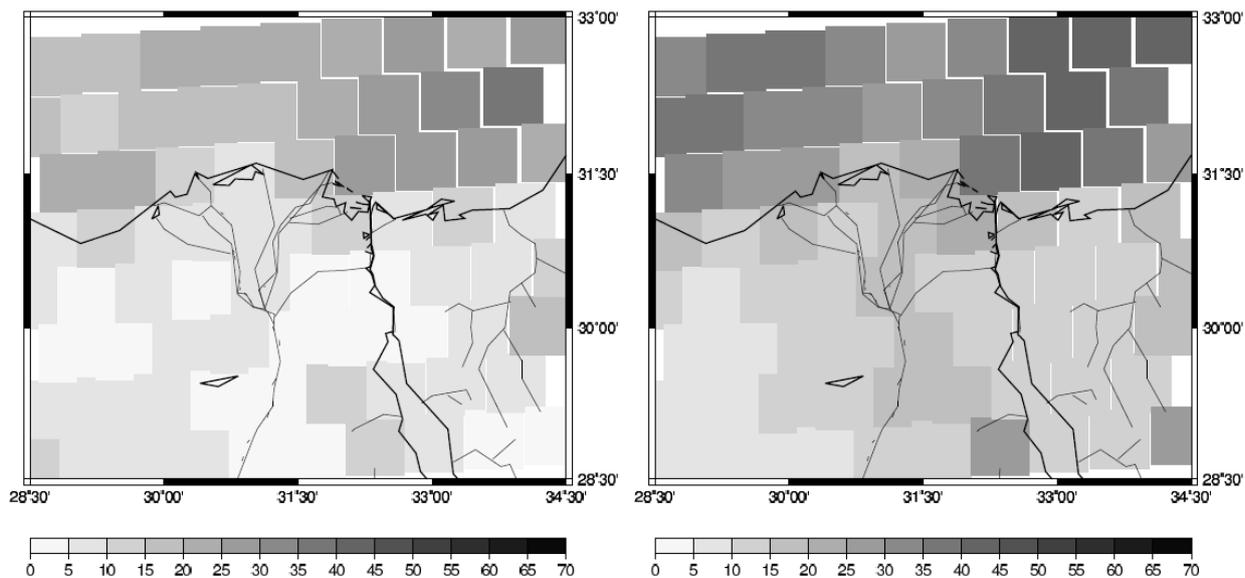


図 224 下層雲の分布 (2010 年 5 月平均)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

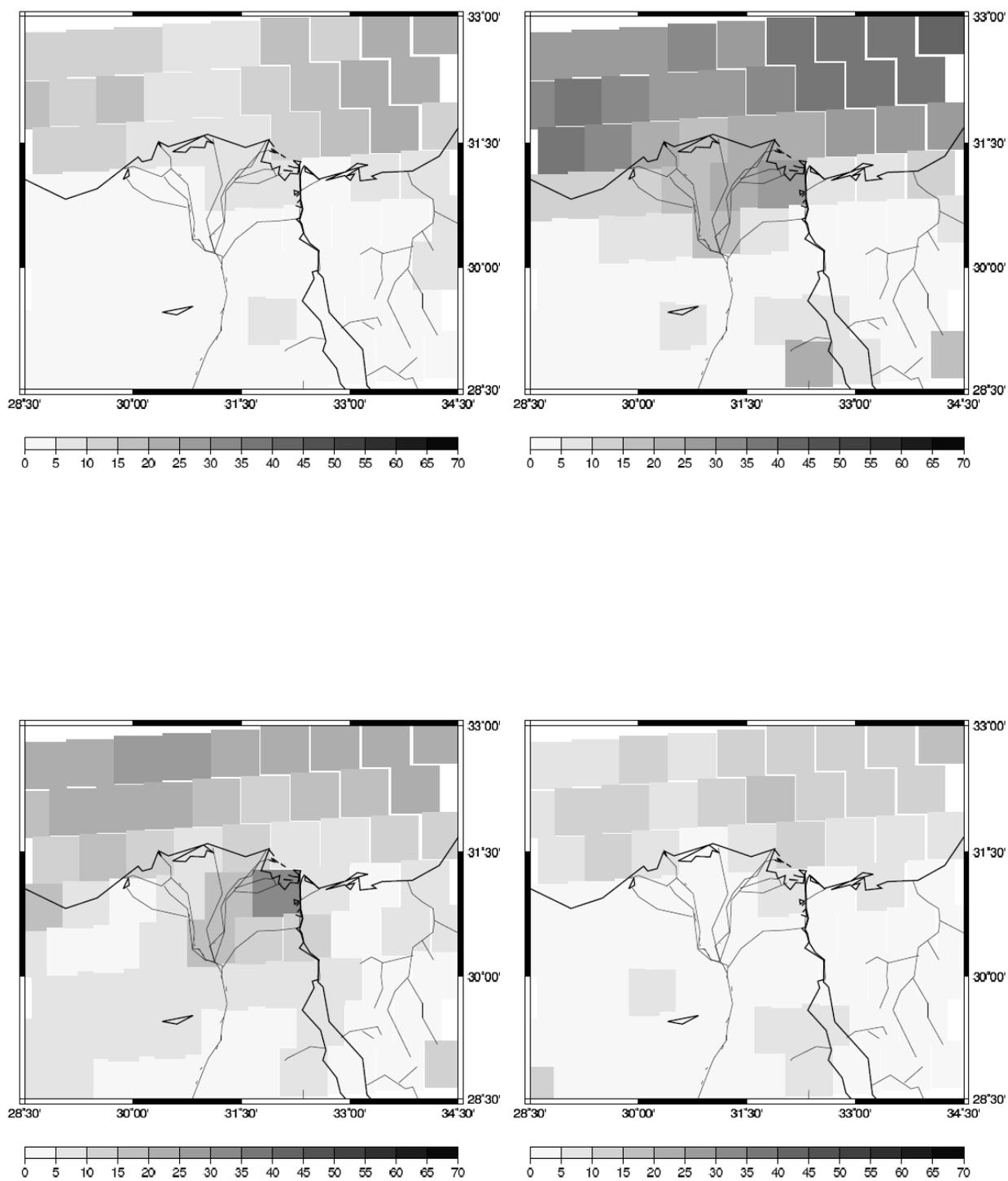


図 225 下層雲の分布 (2010年6月平均)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

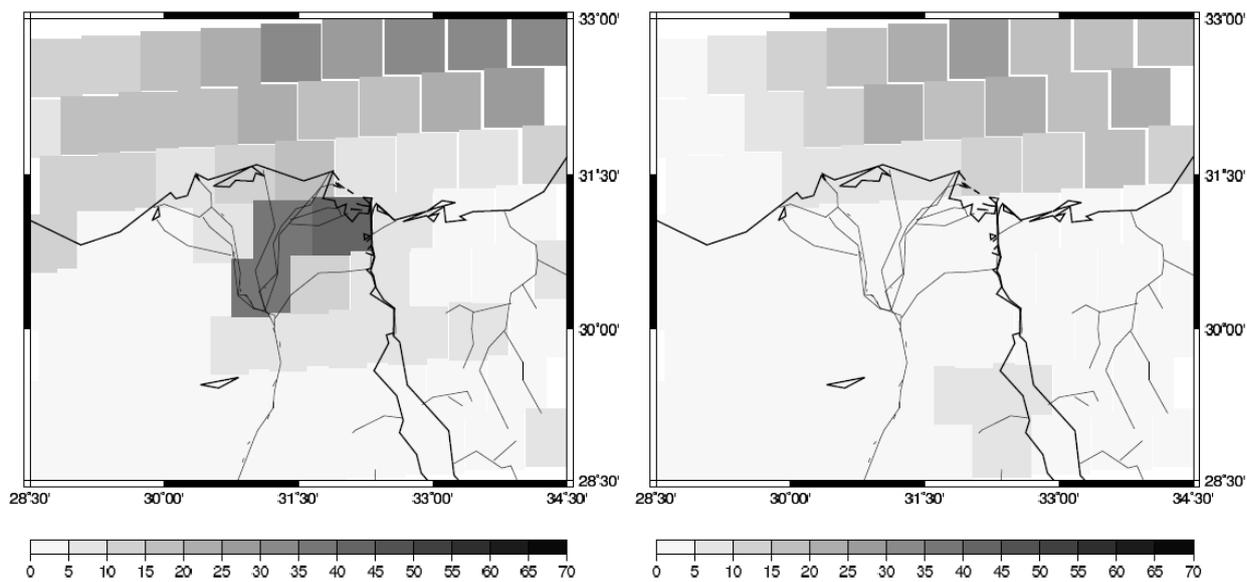
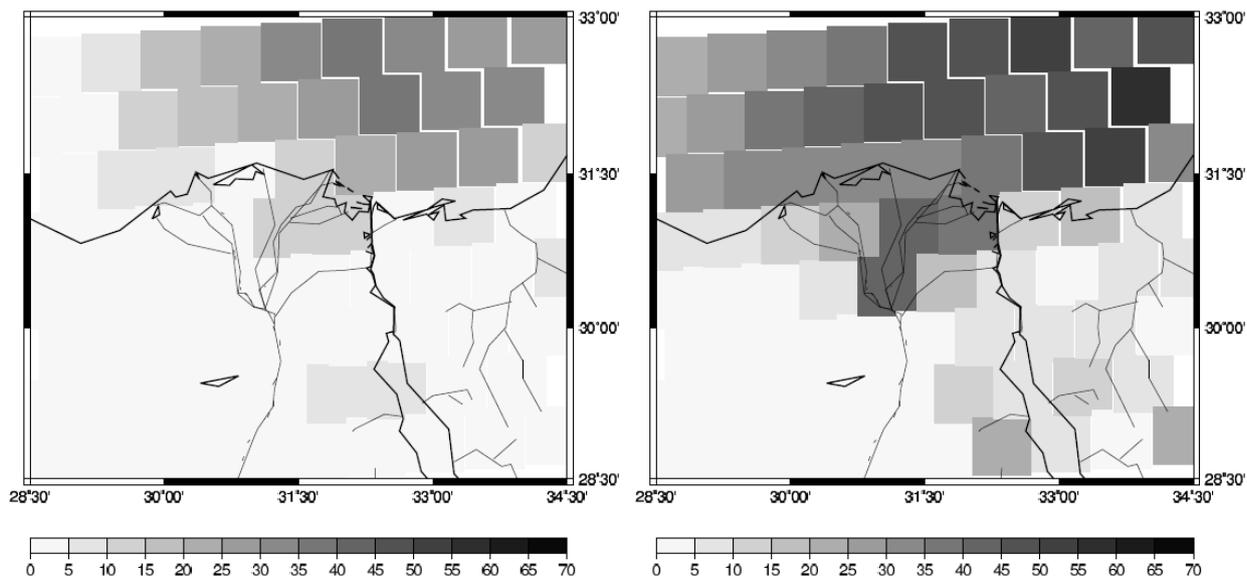


図 226 下層雲の分布 (2010 年 7 月平均)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

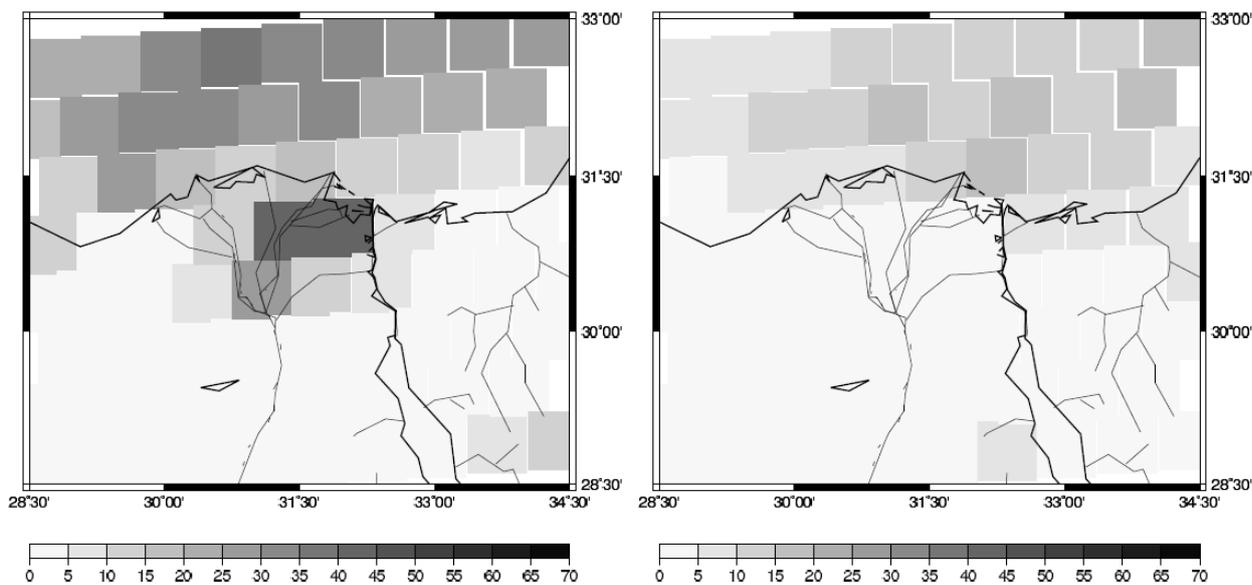
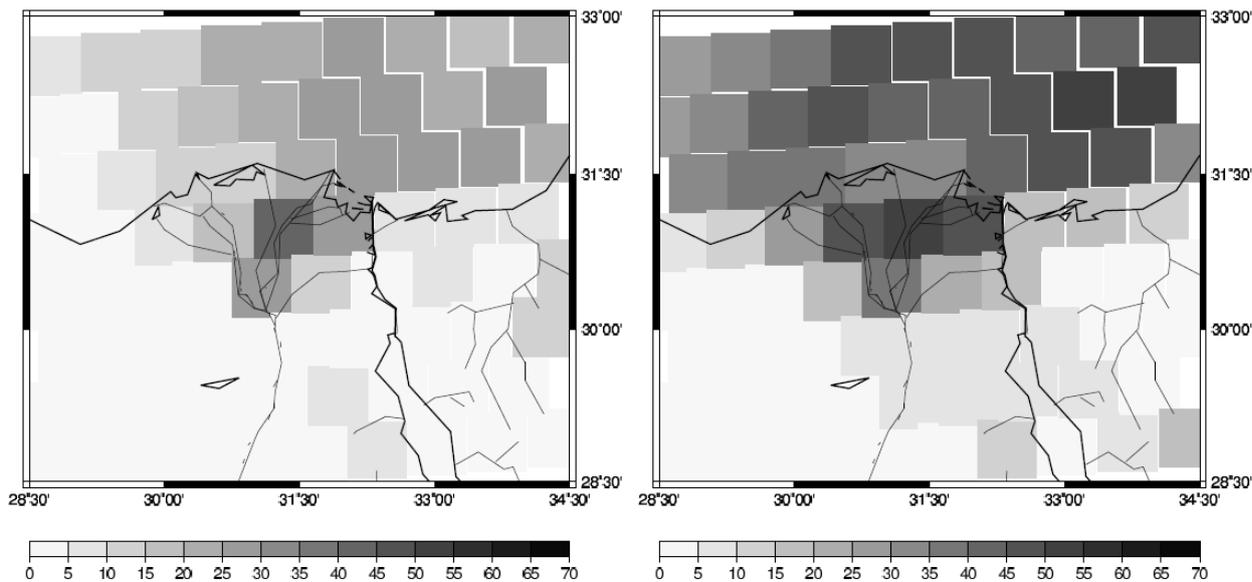


図 227 下層雲の分布 (2010 年 8 月平均)

左上 : 0045 UTC 右上 : 0645 UTC 左下 : 1245 UTC 右下 : 1845 UTC

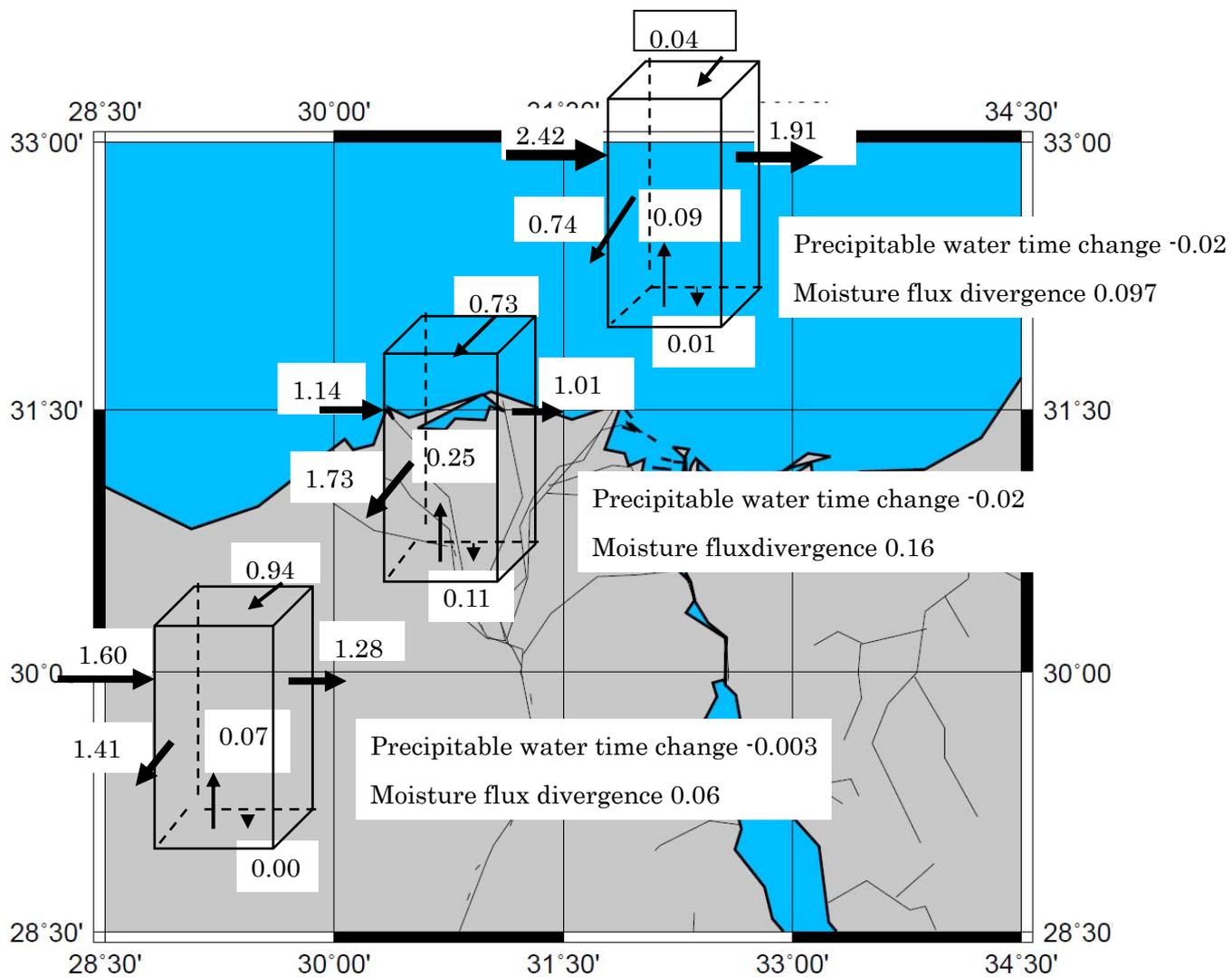


図 228 秋の地域別大気水収支 (2009年9月から11月)

単位は全て mm/hour

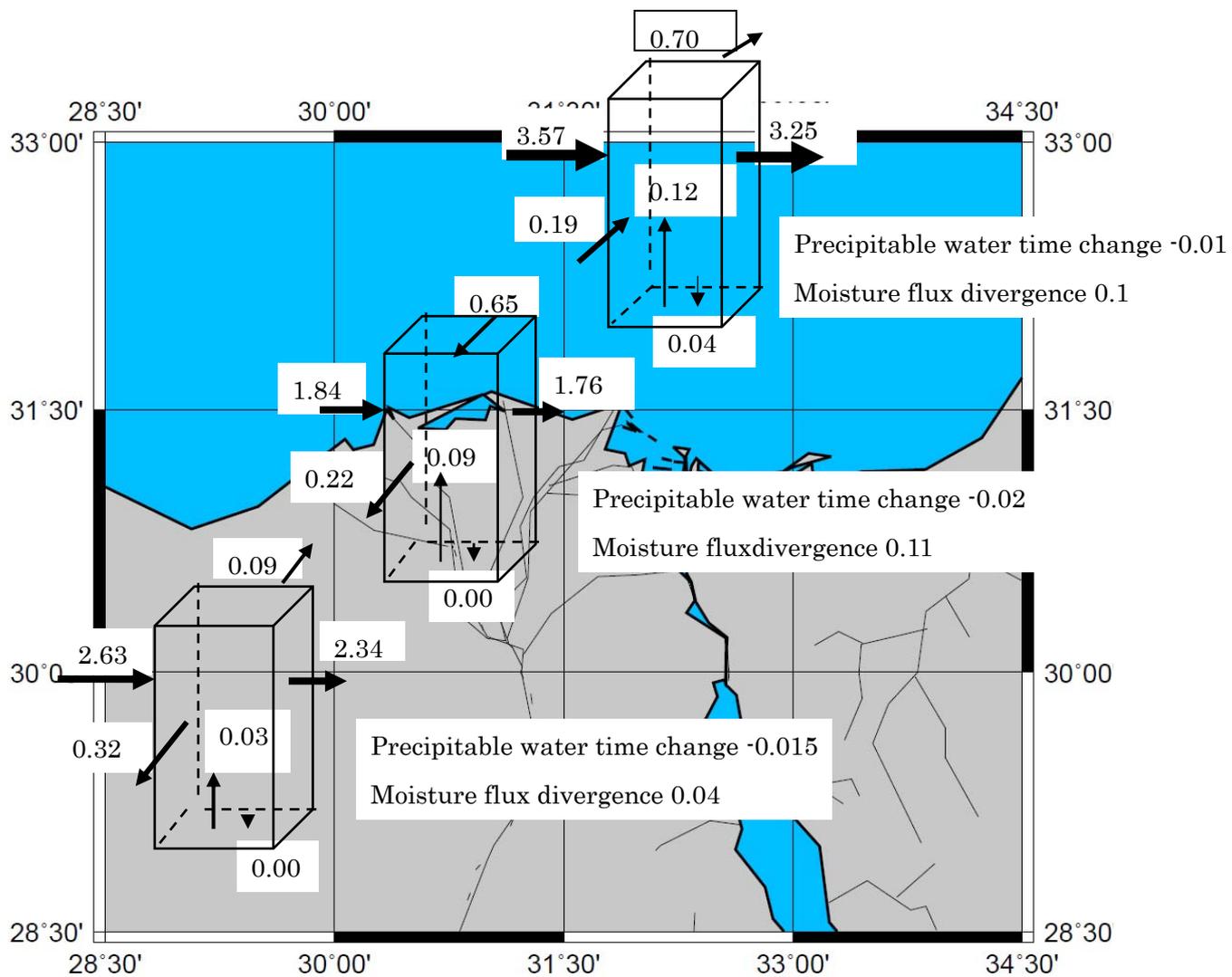


図 229 冬の地域別大気水収支 (2009年9月から11月)

単位は全て mm/hour

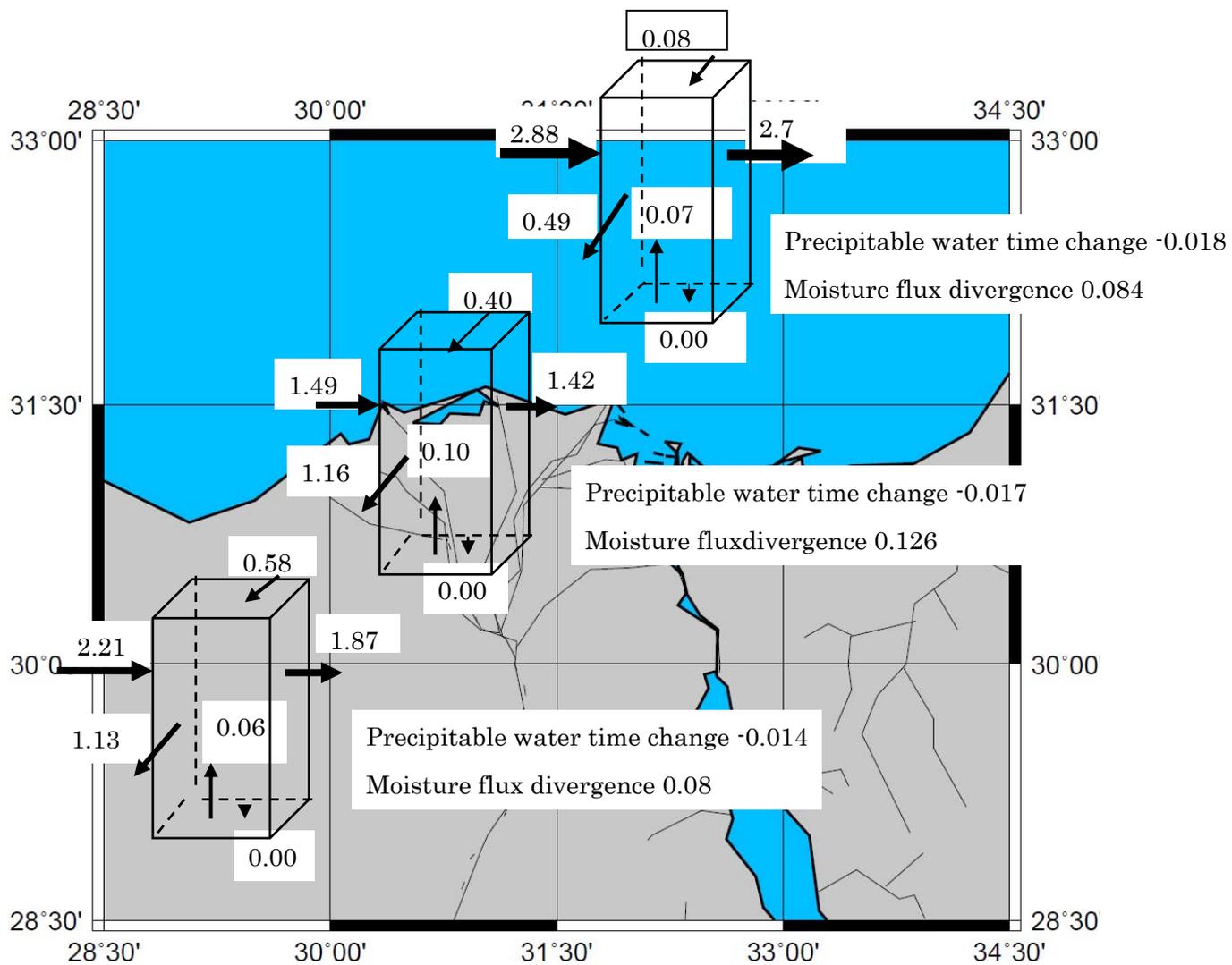


図 230 春の地域別大気水収支 (2009年9月から11月)

単位は全て mm/hour

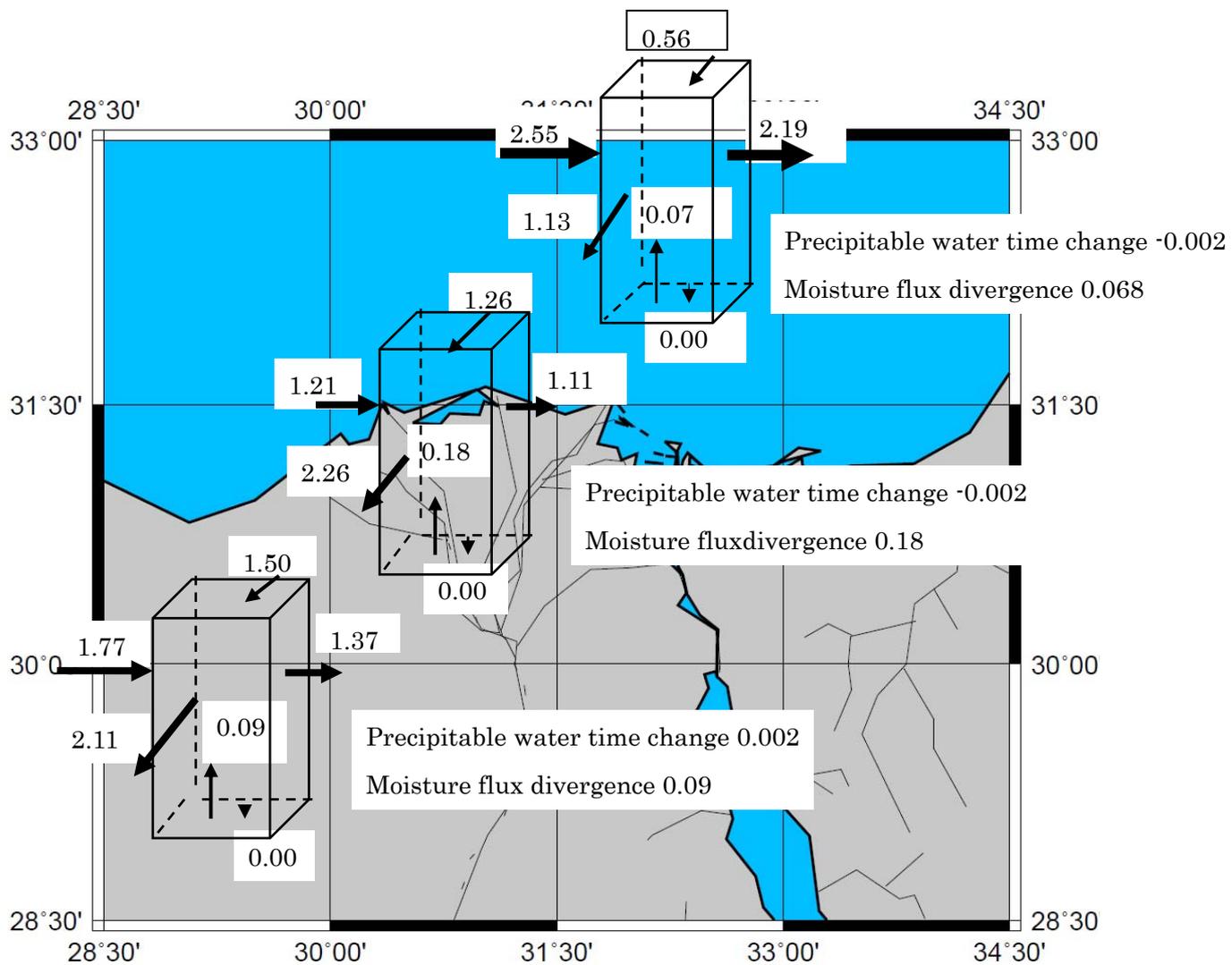


図 231 夏の地域別大気水収支 (2010年6月から8月)

単位は全て mm/hour

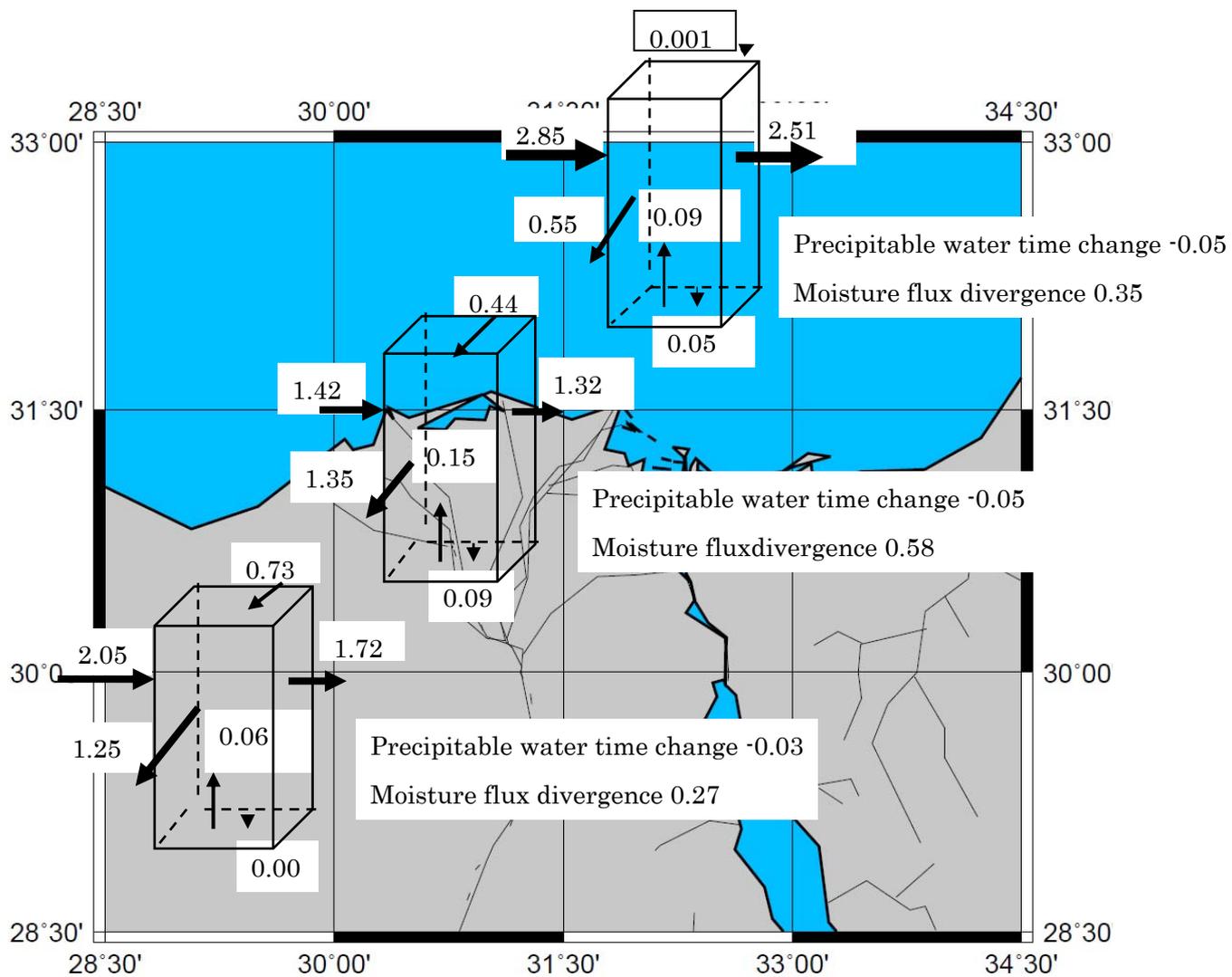


図 232 年平均地域別大気水収支

単位は全て mm/hour

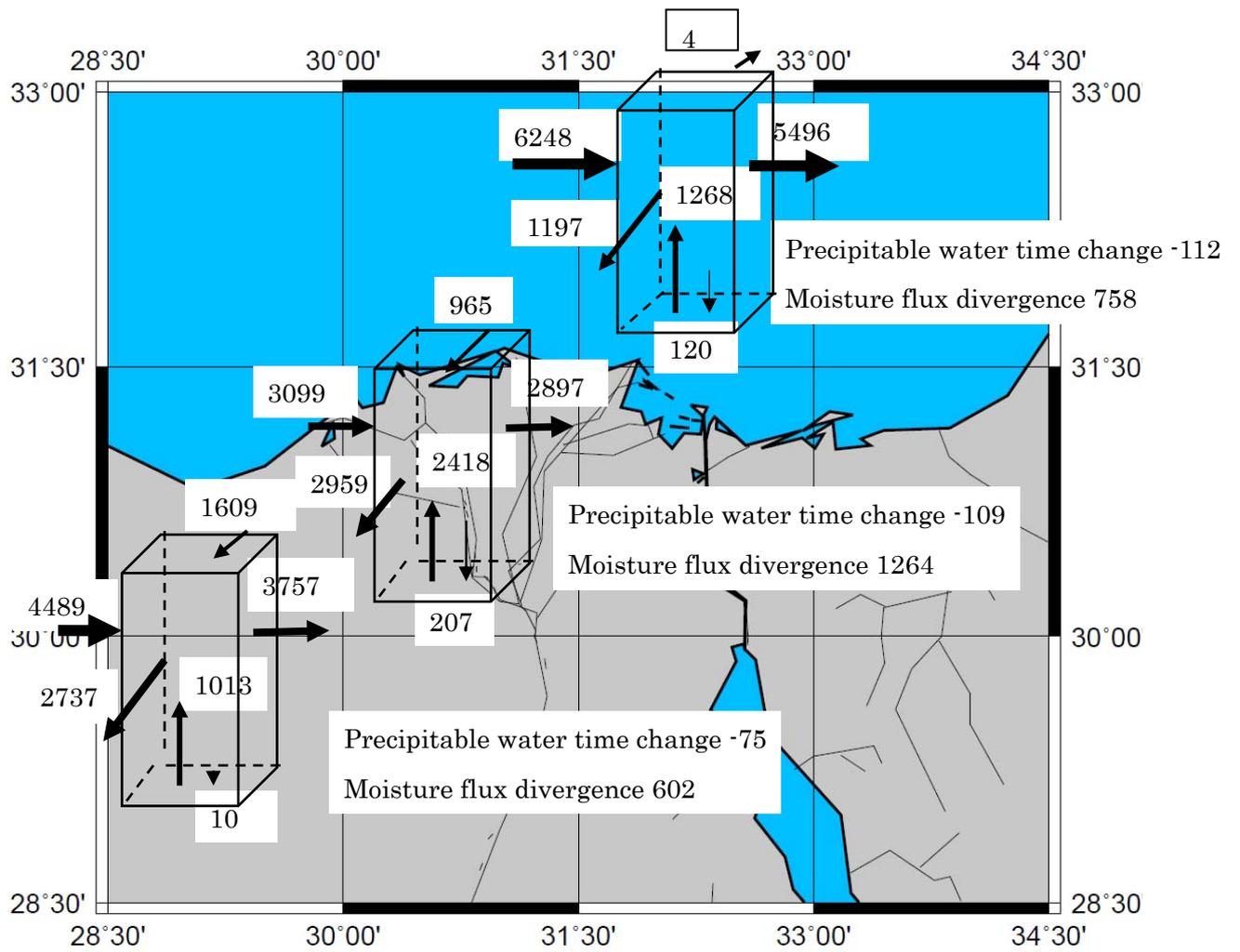


図 233 年間積算地域別大気水収支

単位は全て mm/year