

平成 24 年度 卒業論文

モンゴル北東部ステップ地域における放牧圧の分布特性の解明

—GPS による動物移動調査を用いて—

筑波大学生命環境学群地球学類

地球環境学主専攻

200910843

吉田新悟

2013 年 2 月

目次

要旨	ii
Abstract	iii
表目次	iv
図目次	v
本文	
1. はじめに	
1.1. 背景	
1.1.1. モンゴル国の水循環・生態系	1
1.1.2. 放牧圧分布	1
1.2. 目的	2
2. 研究方法	
2.1. 研究対象地域	3
2.2. 使用データ	3
2.3. 放牧圧の算出	4
2.4. 環境因子の算出	5
2.5. 説明変数の特定	6
3. 結果と考察	
3.1. 放牧圧分布	
3.1.1. 夏季ゲルの放牧圧分布	7
3.1.2. 冬季ゲル1の放牧圧分布	8
3.1.3. 冬季ゲル2の放牧圧分布	9
3.1.4. 放牧圧分布の全体的傾向	10
3.2. 環境因子の分布	10
3.3. 放牧圧と環境因子の関係	10
3.4. 重回帰分析	12
4. 結論	15
謝辞	16
引用文献	17

モンゴル北東部ステップ地域における放牧圧の分布特性の解明
—GPS による動物移動調査を用いて—
吉田新悟

要旨

モンゴル国においては、1990 年以降の社会主義経済から資本主義経済への移行に伴い、家畜の数が増大しており、モンゴルの生態系を考える上で、放牧圧の分布特性を把握することは不可欠である。高い精度で生態系への影響を調べるためには、詳細な分布の放牧圧データを求める必要がある。GPS による動物移動調査によって求められる特定の地域における放牧圧を、地形などの環境因子の関数として表すことができれば、広い範囲においても環境因子から詳細な分布の放牧圧を求められることができる。そこで本研究では、動物行動分布を示す GPS データを解析し、放牧圧の分布を作成することによって、放牧圧の分布特性を把握することを第一の目的とする。また、放牧圧と環境因子の関係を把握することによって、放牧圧に影響を与える主要な説明変数を特定し、放牧圧を環境因子の関数として表すことを第二の目的とする。

研究対象地域は、モンゴル国ヘンティ県 (Khentii Aimag) デルゲルハーン郡 (Delgerkhaan Sum) に位置する旧ヘルレンバイヤンウラン郡 (Kherlenbayan-Ulaan Sum) 地域である。この地域は半乾燥地帯の大陸性気候であり、典型的なステップ地域である。この地域にはゲル (ger) と呼ばれる移動式住居が分布しており、ゲルの周辺で放牧が行われている。夏季に 1 つのゲル (夏季ゲル)、冬季に 2 つのゲル (冬季ゲル 1・冬季ゲル 2) 周辺で得られたデータを解析し、それぞれの放牧圧の分布図を作成した。また、放牧圧を目的変数とし、ゲルからの距離・ゲルとの標高差・崖の上下・傾斜角・傾斜方向・川からの最短距離・ワジからの最短距離・直近の井戸からの最短距離を説明変数として、重回帰分析を行った。

放牧圧の分布図は、夏季ゲルに関しては、放牧圧の分布は同心円状に近い形であり、主にゲルからの距離や水場や崖といった環境因子の影響を受けていることが分かった。冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 に関しては、放牧圧の分布は同心円状とは言えない形であり、ゲルからの距離に加えて主に地形の影響を受けていることが分かった。また、重回帰分析によって、各ゲルの放牧圧に影響を与える主要な要因は、ゲルからの距離であることが分かった。また、放牧圧を環境因子の関数として表すことは出来たが、現状では得られた回帰式の重決定係数が低いので、式の形を改良する必要があることが分かった。

キーワード：モンゴル、ステップ、放牧圧、羊、山羊、牛

Clarification of Characteristic of Distribution of Grazing Intensity in a Steppe Region in
Northeastern Mongolia, Using Animal Trucking Survey Data by GPS
Shingo Yoshida

Abstract

In Mongolia, the number of livestock increased after transition from socialist economy to capitalist economy. Therefore, it is necessary to find out the characteristics of distribution of grazing intensity for considering the ecosystems in Mongolia. Detailed distribution of grazing intensity is needed to carry out research of ecosystem with a high accuracy. If distribution of grazing intensity of certain area found out by the GPS method is expressed by environmental factors of the area, that of a different area can be calculated by the environmental factors without the data of the GPS method. Therefore, first objective in this thesis is to determine the distribution of grazing intensity by analyzing GPS data. Second objective is to estimate relation between grazing intensity and environmental factors, and to express grazing intensity by the environmental factors.

Study area is located in former Kherlenbayan-Ulaan Sum in Delgerkhaan Sum in Khentii Aimag in Mongolia. The area belongs to the semi-arid zone and has a distinct continental climate. The vegetation of the area is steppe. There are portable dwellings called *ger* and grazings take place around them. Figures of grazing intensity were made by the GPS data around three *gers*, one *ger* in summer and two *gers* in winter. A multiple regression analysis was conducted. Grazing intensity was selected as objective variable. The distance from the *ger*, difference of elevation, the presence of a cliff, slope, aspect, the distance from river, the distance from wadi, and the distance from the nearest well were obtained from DEM map and selected as explanatory variables.

Distribution of grazing intensity around the summer *ger* was found to show a concentric pattern. It is affected by the distance from the *ger*, the distance from water, and the presence of a cliff. In contrast, the distributions of grazing intensity around the winter *gers* were not found to show concentric patterns. The multiple regression analysis has shown that they are affected by the distance from the *ger* and terrain features such as the slope. Main factor of grazing intensity is the distance from the *ger*. Although the grazing intensity was expressed by the environmental factors, the functional form needs to be adjusted the three *gers*, because multiple regression coefficient of the equation is very low.

Key Words : Mongolia, steppe, grazing intensity, sheep, goat, cow

表目次

表 1	ゲルごとの家畜頭数 (吉井, 2008 をもとに作成)	18
表 2	観測に用いられた GPS 機器 (吉井, 2008)	19
表 3	夏季に観測された GPS 機器ごとの動物の種類	20
表 4	冬季に観測された GPS 機器ごとの動物の種類とゲルの種類	21
表 5	各ゲルにおける放牧圧の主要な説明変数	22

図目次

図 1	2003 年モンゴル統計局データによるヘルレン川上流流域の放牧圧(GI _M)空間分布 (Byambakhuu,2011)	23
図 2	モンゴル国全体図	24
図 3	旧ヘルレンバイヤンウラン郡周辺図	25
図 4	ヘルレンバイヤンウランの気温・降水量の経年変化 (Kato, 2007)	26
図 5	ヘルレンバイヤンウランの気温・降水量の季節変化 (Kato, 2007)	27
図 6	放牧に向かう動物 (吉井, 2008)	28
図 7	GPS 機器が設置された動物 (吉井, 2008)	29
図 8	夏季ゲルの放牧圧分布図と土地利用区分図	30
図 9	夏季ゲルの羊の放牧圧分布図と土地利用区分図	31
図 10	夏季ゲルの山羊の放牧圧分布図と土地利用区分図	32
図 11	夏季ゲルの牛の放牧圧分布図と土地利用区分図	33
図 12	冬季ゲル 1 の放牧圧分布図と地形図	34
図 13	冬季ゲル 1 の羊の放牧圧分布図と地形図	35
図 14	冬季ゲル 1 の山羊の放牧圧分布図と地形図	36
図 15	冬季ゲル 1 の牛の放牧圧分布図と地形図	37
図 16	冬季ゲル 2 の放牧圧分布図と地形図	38
図 17	冬季ゲル 2 の羊の放牧圧分布図と地形図	39
図 18	冬季ゲル 2 の山羊の放牧圧分布図と地形図	40
図 19	冬季ゲル 2 の牛の放牧圧分布図と地形図	41
図 20	夏季ゲルにおけるゲルからの距離の分布図	42
図 21	夏季ゲルにおけるゲルとの標高差の分布図	43
図 22	夏季ゲルにおける傾斜角の分布図	44
図 23	夏季ゲルにおける傾斜方向の分布図	45
図 24	夏季ゲルにおける川からの最短距離の分布図	46
図 25	夏季ゲルにおけるワジからの最短距離の分布図	47
図 26	夏季ゲルにおける直近の井戸から最短距離の分布図	48
図 27	冬季ゲル 1 におけるゲルからの距離の分布図	49
図 28	冬季ゲル 1 におけるゲルとの標高差の分布図	50
図 29	冬季ゲル 1 における傾斜角の分布図	51
図 30	冬季ゲル 1 における傾斜方向の分布図	52
図 31	冬季ゲル 1 における直近の井戸からの最短距離の分布図	53
図 32	冬季ゲル 2 におけるゲルからの距離の分布図	54
図 33	冬季ゲル 2 におけるゲルとの標高差の分布図	55
図 34	冬季ゲル 2 における傾斜角の分布図	56
図 35	冬季ゲル 2 における傾斜方向の分布図	57
図 36	冬季ゲル 2 における直近の井戸からの最短距離の分布図	58

図 37	夏季ゲルにおける放牧圧とゲルからの距離の散布図	59
図 38	夏季ゲルにおける放牧圧とゲルとの標高差の散布図	60
図 39	夏季ゲルにおける放牧圧と傾斜角の散布図	61
図 40	夏季ゲルにおける放牧圧と傾斜方向の散布図	62
図 41	夏季ゲルにおける放牧圧と川からの最短距離の散布図	63
図 42	夏季ゲルにおける放牧圧とワジからの最短距離の散布図	64
図 43	夏季ゲルにおける放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	65
図 44	夏季ゲルにおける羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図	66
図 45	夏季ゲルにおける羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図	67
図 46	夏季ゲルにおける羊の放牧圧と傾斜角の散布図	68
図 47	夏季ゲルにおける羊の放牧圧と傾斜方向の散布図	69
図 48	夏季ゲルにおける羊の放牧圧と川からの最短距離の散布図	70
図 49	夏季ゲルにおける羊の放牧圧とワジからの最短距離の散布図	71
図 50	夏季ゲルにおける羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	72
図 51	夏季ゲルにおける山羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図	73
図 52	夏季ゲルにおける山羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図	74
図 53	夏季ゲルにおける山羊の放牧圧と傾斜角の散布図	75
図 54	夏季ゲルにおける山羊の放牧圧と傾斜方向の散布図	76
図 55	夏季ゲルにおける山羊の放牧圧と川からの最短距離の散布図	77
図 56	夏季ゲルにおける山羊の放牧圧とワジからの最短距離の散布図	78
図 57	夏季ゲルにおける山羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	79
図 58	夏季ゲルにおける牛の放牧圧とゲルからの距離の散布図	80
図 59	夏季ゲルにおける牛の放牧圧とゲルとの標高差の散布図	81
図 60	夏季ゲルにおける牛の放牧圧と傾斜角の散布図	82
図 61	夏季ゲルにおける牛の放牧圧と傾斜方向の散布図	83
図 62	夏季ゲルにおける牛の放牧圧と川からの最短距離の散布図	84
図 63	夏季ゲルにおける牛の放牧圧とワジからの最短距離の散布図	85
図 64	夏季ゲルにおける牛の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	86
図 65	冬季ゲル 1 における放牧圧とゲルからの距離の散布図	87
図 66	冬季ゲル 1 における放牧圧とゲルとの標高差の散布図	88
図 67	冬季ゲル 1 における放牧圧と傾斜角の散布図	89
図 68	冬季ゲル 1 における放牧圧と傾斜方向の散布図	90
図 69	冬季ゲル 1 における放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	91
図 70	冬季ゲル 1 における羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図	92
図 71	冬季ゲル 1 における羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図	93
図 72	冬季ゲル 1 における羊の放牧圧と傾斜角の散布図	94
図 73	冬季ゲル 1 における羊の放牧圧と傾斜方向の散布図	95
図 74	冬季ゲル 1 における羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	96
図 75	冬季ゲル 1 における山羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図	97

図 76	冬季ゲル 1 における山羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図	98
図 77	冬季ゲル 1 における山羊の放牧圧と傾斜角の散布図	99
図 78	冬季ゲル 1 における山羊の放牧圧と傾斜方向の散布図	100
図 79	冬季ゲル 1 における山羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	101
図 80	冬季ゲル 1 における牛の放牧圧とゲルからの距離の散布図	102
図 81	冬季ゲル 1 における牛の放牧圧とゲルとの標高差の散布図	103
図 82	冬季ゲル 1 における牛の放牧圧と傾斜角の散布図	104
図 83	冬季ゲル 1 における牛の放牧圧と傾斜方向の散布図	105
図 84	冬季ゲル 1 における牛の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	106
図 85	冬季ゲル 2 における放牧圧とゲルからの距離の散布図	107
図 86	冬季ゲル 2 における放牧圧とゲルとの標高差の散布図	108
図 87	冬季ゲル 2 における放牧圧と傾斜角の散布図	109
図 88	冬季ゲル 2 における放牧圧と傾斜方向の散布図	110
図 89	冬季ゲル 2 における放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	111
図 90	冬季ゲル 2 における羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図	112
図 91	冬季ゲル 2 における羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図	113
図 92	冬季ゲル 2 における羊の放牧圧と傾斜角の散布図	114
図 93	冬季ゲル 2 における羊の放牧圧と傾斜方向の散布図	115
図 94	冬季ゲル 2 における羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	116
図 95	冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図	117
図 96	冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図	118
図 97	冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧と傾斜角の散布図	119
図 98	冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧と傾斜方向の散布図	120
図 99	冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	121
図 100	冬季ゲル 2 における牛の放牧圧とゲルからの距離の散布図	122
図 101	冬季ゲル 2 における牛の放牧圧とゲルとの標高差の散布図	123
図 102	冬季ゲル 2 における牛の放牧圧と傾斜角の散布図	124
図 103	冬季ゲル 2 における牛の放牧圧と傾斜方向の散布図	125
図 104	冬季ゲル 2 における牛の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	126
図 105	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧とゲルからの距離の散布図	127
図 106	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧とゲルとの標高差の散布図	128
図 107	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧と傾斜角の散布図	129
図 108	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧と傾斜方向の散布図	130
図 109	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図	131
図 110	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図	132
図 111	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図	133
図 112	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における羊の放牧圧と傾斜角の散布図	134
図 113	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における羊の放牧圧と傾斜方向の散布図	135
図 114	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図 ..	136

図 115	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図	137
図 116	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図	138
図 117	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧と傾斜角の散布図	139
図 118	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧と傾斜方向の散布図	140
図 119	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図..	141
図 120	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における牛の放牧圧とゲルからの距離の散布図	142
図 121	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における牛の放牧圧とゲルとの標高差の散布図	143
図 122	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における牛の放牧圧と傾斜角の散布図	144
図 123	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における牛の放牧圧と傾斜方向の散布図	145
図 124	冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における牛の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図 ..	146

1. はじめに

1.1. 背景

1.1.1. モンゴル国の水循環・生態系

砂漠化を引き起こす要因には、大気循環の変動や干ばつに代表される気候的要因と、過耕作や過放牧に代表される人為的要因がある（篠田, 2002）。特にモンゴル国においては、1990年以降の社会主義経済から資本主義経済への移行に伴い、家畜の数が増大した（吉澤, 2010）。そのため、今後のモンゴル国の生態系およびその影響を受ける水循環を考える上で、放牧圧の分布特性を把握することは不可欠である。

1.1.2. 放牧圧分布

Byambakhuu (2011)では、地球温暖化と、家畜の数を表す放牧圧が変化することによる、モンゴルの生態系への影響が、モデルによって複数のシナリオ毎に求められた。ここで使用されたモデルの分解能は1 km 四方と細かいのに対し、放牧圧に関しては詳細なデータが無いので、放牧圧は郡(Sum)と呼ばれる行政単位ごとの家畜の数と、郡の面積から平均値を求めて使用された。図1はByambakhuu (2011)で用いられた、2003年モンゴル統計局データによるヘルレン川上流流域の放牧圧の空間分布である。この図を見ると、おおよそ50 km 四方くらいで放牧圧が同じ値となっていることがわかる。しかし実際は、郡の内部でも場所によって放牧圧は異なっていると考えられる。そのため、高い精度で生態系への影響を調べるためには、詳細な分布の放牧圧データを求める必要がある。

しかし、広い範囲で詳細な放牧圧を直接求めることは非常に困難である。この問題を解決するためには、間接的な方法として、GPSによる動物移動調査によって求められる特定の地域における放牧圧を、地形などの環境因子の関数として表し、広い範囲においても環境因子から放牧圧を求められるようにすることが必要である。

ヘルレン川流域に位置する旧ヘルレンバイヤンウラン郡では、GPS観測によって家畜の行動分布が調べられた（吉井, 2008）。そのため、この場所では吉井(2008)によるデータを使って、放牧圧を直接求められることができ、放牧圧の環境因子の関数化が可能になる。

また、GPSから放牧圧を求めた研究が、他の地域において既に行われている。Kawamura (2005)による研究では、GPSと家畜の顎の動きを数えるバイトカウンターによる手法を用いている。中国内モンゴル自治区の500 haの草原を対象地域としており、対象時期は2004年夏季で、対象動物は羊である。この研究によって、この地域の放牧圧分布と、月及び時間帯ごとの家畜の咀嚼回数が明らかになった。また、Putfarken et al. (2008)による研究では、GPSと重回帰分析による手法を用いている。ドイツ北西部のフェンスで囲われた180 haの草原を対象地域としており、対象時期は夏季及び冬季で、対象動物は牛と羊である。この研究によって、この地域における放牧圧の主要な説明変数は、小屋からの距離、水飲み場からの距離、フェンスからの距離などであることが特定された。しかしこの地域では、フェンスという人工的な要因によって、動物の行動が制限されてしまっている。そのため、フェンスによる行動の制限が無く、自由な放牧が行われている地域において、放牧圧の分布特性を解明する意義は非常に大きいと考えられる。

1.2. 目的

以上の背景を踏まえて本研究では、吉井 (2008)によって得られた動物行動分布を示す GPS データを解析し、放牧圧の分布を作成することによって、放牧圧の分布特性を把握することを第一の目的とする。また、放牧圧と環境因子の関係を把握することによって、放牧圧に影響を与える主要な説明変数を特定し、放牧圧を環境因子の関数として表すことを第二の目的とする。

2. 研究方法

2.1. 研究対象地域

研究対象地域は、モンゴル国ヘンティ県 (Khentii Aimag) デルゲルハーン郡 (Delgerkhaan Sum) に位置する旧ヘルレンバイヤンウラン郡 (Kherlenbayan-Ulaan Sum) 地域である。モンゴル国全体図を図 2 に示す。ここはモンゴル首都ウランバートル (Ulaanbaatar) より南東へ約 200km 離れた場所に位置する。この地域は半乾燥地帯の大陸性気候であり、典型的なステップ地域である。旧ヘルレンバイヤンウラン郡周辺図を図 3 に示す。この地域をはじめとするモンゴル国周辺ではゲル (ger) と呼ばれる移動式住居で家畜を飼育しており (長沢ほか, 2008)、この地域のゲルの分布は図中に示している。赤い旗で示したものは夏季におけるゲルの分布であり、青い旗で示したものは冬季におけるゲルの分布である。また、黒い旗で示したものは吉井 (2008) による動物移動調査が行われたゲルである。夏季に 1 つのゲル、冬季に 2 つのゲルで動物移動調査が行われた。便宜上本論文ではこれ以降、図に矢印で示したように、夏季に調査が行われたゲルを夏季ゲル、冬季に調査が行われたゲルを北から冬季ゲル 1、冬季ゲル 2 と記載する。また、青い線で示したものはヘルレン川 (Kherlen river) である。黒い線で示したものは郡境であり、図の中心に位置しているのが旧ヘルレンバイヤンウラン郡である。

この地域では、ゲルの周辺で羊・山羊・牛・馬・ラクダの動物が放牧されている。2004 年及び 2005 年の夏季には、羊が 10757 頭、山羊が 10812 頭、牛が 1175 頭、馬が 2029 頭、ラクダが 42 頭、合計 24815 頭が飼育されていた。放牧は年間通して行われているが、季節によって放牧地が異なっている。植生の多い夏季には、ヘルレン川付近の平らな土地で放牧が行われている。冬季には植生が減少し、平らな土地では非常に寒くなり積雪も深くなることから、比較的寒さの少ない山岳域へ移動して放牧が行われている。山岳域で放牧が行われている時期は、おおよそ 11 月半ばから 3 月半ばである (Gerelsuren, 2006, 私信)。

この地域における気温・降水量の 1993 年から 2002 年までの経年変化を図 4 に示す。また、気温・降水量の季節変化を図 5 に示す。これらはヘルレンバイヤンウランにある、Institute of Meteorology and Hydrology of Mongolia の Meteopost Station と呼ばれる気象観測所によって得られた 1993 年から 2002 年までのデータを用いて Kato (2007) によって作成されたものである。年平均気温は 1.2°C であり、1 月及び 7 月の平均気温はそれぞれ -22.9°C、21.4°C となっている。また、5 月から 9 月まで平均気温は 5°C 以上となっている。年平均降水量は 196 mm であり、その 88% は 6 月から 9 月の間に集中して降っている。年によって年平均降水量のばらつきは非常に大きく、季節変化も顕著である (Kato, 2007)。

2.2. 使用データ

放牧庄の算出には、吉井 (2008) による動物行動分布を示す GPS データを用いた。これは、羊・山羊・牛を対象として、夏季 (2006 年 7 月 28 日～8 月 3 日)、及び冬季 (2007 年 2 月 26 日～3 月 4 日) に測定された一分ごとの軌跡データである。夏季には 1 つのゲル (夏季ゲル)、冬季には 2 つのゲル (冬季ゲル 1・冬季ゲル 2) で観測が行われた。それぞれのゲルの家畜の数を表 1 に示す。

家畜が放牧に向かっている様子を図 6 に示す。また、動物に GPS 機器が設置されている様子を図 7 に示す。GPS 機器はそれぞれ、耐水性の高いカバー (AQUAPAC, AQUAPAC CO.,Ltd.) に収納さ

れ、伸縮性の高い帯に取り付けられるように細工が行われた。羊・山羊については胴体に、牛については首に巻きつけて観測が行われた（吉井, 2008）。動物行動分布の測定に使用された GPS 機器を表 2 に示す。

家畜は朝にゲルを放れ、夕方飼育者によって集められるという一連の動作を繰り返す。放牧中は主に牛のグループと羊・山羊のグループに分かれ、ゲルの周辺を遊歩し、摂取・休息・排泄を行っている（吉井, 2008）。

その他の環境因子のデータとして、地形データ・衛星画像データ・井戸の分布・ゲルの分布のデータを用いた。地形データは SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (Jarvis et al., 2008) を用いた。これは CGIAR (<http://srtm.csi.cgiar.org/>) による SRTM の DEM (Digital Elevation Model) データで、バージョンは 4.1 である。衛星画像データは、ASTER 標高・オルソデータセット (株式会社シーシーエス, 2002) を用いた。これは地球観測衛星 Terra の ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer) データから作成した DEM とオルソ画像 (正射投影画像) をセットにしたデータである。井戸の分布は、Abe (2004) によるデータと、Davaa (2008) によるデータを用いた。Abe (2004) によるデータは、ヘルレン川流域の井戸分布を現地調査に基づき示したデータで、Davaa (2008) によるデータは、ヘンティ県の井戸分布を示したデータベースの一部である。ゲルの分布は、2011 年夏季 (Byambakhuu, 2011, 私信) 及び 2007 年冬季 (吉井, 2008) の、旧ヘルレンバイヤンウラン郡に分布しているゲルの位置情報を、現地調査に基づき示したデータを用いた。

2.3. 放牧庄の算出

放牧庄を算出するにあたって、最初に動物行動分布を示す GPS データの処理を行った。放牧期間中のそれぞれの日における、各 GPS 機器のデータファイルを確認したところ、動物移動調査とは別の目的で使用されたものや、エラーによって放牧期間中の一部分のデータのみしか記録されていないものが、多数あることが分かった。そのため、これらのデータファイルは解析の対象外とした。また、残りのデータファイルに関しても、ほとんどのデータファイルで、放牧が始まる前や放牧が終わった後の位置データも含めて記録されていた。そのため、これらのデータファイルに関しては、放牧が始まる前と放牧が終わった後に記録されている部分のデータは全て取り除いたうえで解析に使用した。

解析に使用された、夏季における GPS 機器ごとの動物の種類を表 3 に示す。これらは全て夏季ゲルで得られたデータである。複数の GPS 機器で同じ動物の観測が行われた日については、機器ごとの平均値を使用した。

解析に使用された、冬季における GPS ごとの動物の種類とゲルの種類を表 4 に示す。これらは冬季ゲル 1 及び冬季ゲル 2 で得られたデータである。2 月 26 日の eTrex 2、eTrex 3、eTrex 4、eTrex 5 については、動物の種類が羊か山羊のどちらかが不明であった。羊と山羊は同じ群れで行動していることから (吉井, 2008)、eTrex 2 と eTrex 3 のデータの平均値を冬季ゲル 1 の羊のデータ、及び冬季ゲル 1 の山羊のデータとして使用した。また、eTrex 4 と eTrex 5 のデータの平均値を冬季ゲル 2 の羊のデータ、及び冬季ゲル 2 の山羊のデータとして使用した。また、2 月 27 日における冬季ゲル 2 の羊のデータはないため、この日の eTrex 5 の値を冬季ゲル 2 の羊のデータ、及び冬季ゲル 2 の山羊のデータとして使用した。

放牧庄の算出は GIS (ArcGIS) を用いて行った。ここで GIS とは、地理情報システム (Geographic

Information System) のことである。ArcGIS とは ESRI 社による GIS ソフトウェアであり、バージョンは 10 である。解析にあたって地理座標系は WGS 84 (GCS_WGS_1984) を用い、投影座標系は UTM 座標系第 49 帯 N (WGS_1984_UTM_Zone_49N) を用いた。

まず動物の軌跡を表した 1 分ごとの GPS ポイントデータを、全て GIS 上に表示し、ポイントデータを全て覆うように 100 m 四方 (1 ha) のメッシュを作成した。次に各メッシュ内部に位置する GPS ポイントデータ数を、データファイルごとに全て求めた。この処理によって、各メッシュにどのくらいの期間、動物がいたのかを把握することができる。最後に、これらを動物の種類と群れの数によって重み付けを行い、放牧圧を算出した。重み付けに使用した式以下に示す。これは Kato (2007) による式を吉井 (2008) が改良したものである。

$$GI = \frac{a \times HD_{cow}}{A} \times \frac{n_{cow}}{N_{cow}} + \frac{b \times HD_{goat}}{A} \times \frac{n_{goat}}{N_{goat}} + \frac{c \times HD_{sheep}}{A} \times \frac{n_{sheep}}{N_{sheep}} \quad (1)$$

ここで GI は放牧圧 (grazing intensity) であり、単位は SEU/ha である。ただし SEU は羊換算頭数 (sheep equivalent unit) である。a、b、c は各家畜の頭数を羊の頭数として算出するための係数であり、 $a = 5$ 、 $b = 0.75$ 、 $c = 1$ である (Kato, 2007)。 HD は群の頭数、 n_{cow} 、 n_{goat} 、 n_{sheep} はメッシュごとの全 GPS 点、 N_{cow} 、 N_{goat} 、 N_{sheep} は全てのメッシュを合計した全 GPS 点、 A はメッシュの面積 (1 ha) を示している。

2.4. 環境因子の算出

放牧圧の説明変数の候補の環境因子として、ゲルからの距離・ゲルとの標高差・崖の上下・傾斜角・傾斜方向・川からの最短距離・ワジからの最短距離・直近の井戸からの最短距離を求めた。

ゲルからの距離の算出には、放牧圧と同じメッシュを用いた。まず、ゲルが位置するメッシュを特定した。次に、各メッシュの中心からゲルが位置するメッシュの中心までの距離を、三平方の定理により直線距離で求めた。

ゲルとの標高差は標高から算出した。標高の算出には地形データ (DEM) を用いた。地形データはメッシュごとの標高を示しているが、このメッシュサイズは、放牧圧を求めたメッシュのサイズ (100 m 四方) とは一致していない。そこで GIS 上でメッシュサイズの変更を行い、放牧圧のメッシュと一致させたいので、各メッシュにおける標高の値を求めた。次にゲルが位置しているメッシュの標高を求め、ゲルとの標高差 (各メッシュにおける標高の値とゲルが位置しているメッシュにおける標高の値の差) を求めた。

ヘルレン川付近には崖がある。そこで、崖の上下という環境因子も説明変数に用いた。まず、崖の上か下かで二分するために、標高値から崖を読み取った。次に、崖の下にあるメッシュを全て 1、崖の上にあるメッシュを全て 0 とするダミー変数を充てた。

傾斜角とは斜面の角度で、鉛直方向の変化率である。傾斜角の算出にも地形データ (DEM) を用いた。まず GIS 上で地形データの標高値から傾斜角を求めた。ここで求めた傾斜角は標高データと同じく、放牧圧を求めたメッシュのサイズ (100 m 四方) とは一致していない。そこで GIS 上でメッシュサイズの変更を行い、放牧圧のメッシュと一致させたいので、各メッシュにおける傾斜角の値を求めた。

傾斜方向とは斜面の方向で、北から時計回りに計測されるものである。傾斜方向の算出にも地形データ (DEM) を用いた。まず GIS 上で地形データの標高値から傾斜方向を求めた。ここで求めた傾斜方向は標高データと同じく、放牧圧を求めたメッシュのサイズ (100 m 四方) とは一致していない。そこで GIS 上でメッシュサイズの変更を行い、放牧圧のメッシュと一致させたうえで、各メッシュにおける傾斜方向の値を求めた。

川からの最短距離を求めるにあたって、最初に土地利用区分の特定を行った。この処理には衛星画像データ (ASTER) を ERDAS IMAGINE というリモートセンシングソフトウェアで行った。衛星画像データを川・ワジ・植生 1・植生 2・裸地・未分類として、教師つき分類をすることによって行った。植生 1 は主にこの地域全体に広がる植生区分のステップを想定して、植生 2 は主に耕作放棄地を想定して選択された。次に、川からの最短距離を各メッシュで求める処理として、各メッシュの中心から土地利用区分で川と分類されたメッシュの中心までの距離を、三平方の定理により直線距離で求めた。

ワジからの最短距離は、各メッシュの中心から土地利用区分でワジと分類された場所までの距離を、三平方の定理により直線距離で求めた。

直近の井戸からの最短距離の算出にも、放牧圧と同じメッシュを用いた。まず、井戸が位置するメッシュを特定した。次に、各メッシュの中心から直近の井戸が位置するメッシュの中心までの距離を、三平方の定理により直線距離で求めた。

2.5. 説明変数の特定

夏季ゲル・冬季ゲル 1・冬季ゲル 2・冬季ゲル 1+ 冬季ゲル 2 の 4 つについて、ゲルからの距離 6 km 以内の範囲で重回帰分析を行った。解析には SPSS という統計ソフトを用いた。目的変数には放牧圧を用いた。説明変数は、夏季ゲルにおいては、ゲルからの距離・ゲルとの標高差・崖の上下・傾斜角・傾斜方向・川からの最短距離・ワジからの最短距離・直近の井戸からの最短距離を用いた。冬季ゲル 1・冬季ゲル 2・冬季ゲル 1+ 冬季ゲル 2 においては、ゲルからの距離・ゲルとの標高差・傾斜角・傾斜方向・直近の井戸からの最短距離を用いた。重回帰分析にはステップワイズ法を用い、F 値確率の基準を、0.05 で投入、0.10 で除去とした。

3. 結果と考察

3.1. 放牧圧分布

3.1.1. 夏季ゲルの放牧圧分布

夏季ゲルの放牧圧分布図と土地利用区分図を図 8 に示す。

図中の GI (SEU/ha) が放牧圧を示していて、緑から赤になるほど放牧圧が高くなっていることを表している。黒い旗はゲル（移動式住居）であり、青い丸は井戸である。この付近は傾斜が比較的緩やかであるので、等高線は 20 m 間隔で作成した。

また、土地利用区分では教室付き分類によって、川・植生 1・植生 2・裸地・ワジに分類された。ここで植生 1 は、主にこの地域全体に広がる植生区分のステップであり、植生 2 は主に耕作放棄地である。実際に川が流れている場所は川として分類されており、過去に川が流れた跡がついている場所はワジとして分類されている。ワジに関しても、水たまりとして水が残っている場所が多い（杉田, 2013, 私信）。

土地利用区分図を見ると、ゲルより西側に大きな川（ヘルレン川）が流れていることが分かる。図中の北側が上流であり、南側が下流である。また、ヘルレン川の近くには、小さな川やワジが無数に分布していることが分かる。また、ヘルレン川周辺では主に一様な植生が広がっていることが分かる。

ゲルより約 100 m 東側には 1220 m の等高線が直線状に走っていることが分かる。ここには崖が存在しており、崖周辺では植生区分が裸地となっている。崖よりもさらに東側には、耕作放棄地が広がっている。この場所はヘルレン川周辺とは異なる植生となっている。

耕作放棄地よりもさらに北東側には高い山があり、この土地利用区分は主に裸地となっていることが分かる。

放牧圧分布図を全体的に見ると、放牧圧はおもにゲルからの距離約 3 km まで広がっており、それより先は放牧が行われていないことが分かる。また、南北方向に対してわずかに東西方向に長いものの、同心円状に近い形で、ゲルから離れるほど放牧圧が小さくなる傾向にあることが分かる。

放牧圧が分布している最も西の場所には川があることが分かる。このことから、動物たちがこの川よりも先には行っていないことが分かる。このことから、放牧圧が川の影響を受けているのではないかと考えられる。放牧圧が分布している最も南の場所、及び最も東の場所には、川のような目立った障害物は見受けられない。このことから、これらの方向に関しては、単にゲルからの距離がある程度遠くなったことによる影響で、それより先で放牧が行われなくなっているのではないかと考えられる。放牧圧が分布している最も北の場所では、曲線状の等高線があることから、多少ながら標高が高くなっていることが分かるが、このことが放牧圧に影響を与えている可能性は低く、南方向及び東方向と同様に、ゲルからの距離がある程度遠くなったことによる影響で、それより先で放牧が行われなくなっているのではないかと考えられる。

内部を細かく見ると、ゲルより約 1 km 東側に、放牧圧が急に低くなっている場所があることが分かる。ここには 1220 m の等高線で示したように、崖が存在し、標高・傾斜も異なっている。また土地利用区分も異なっている。このことから、放牧圧がこれらの環境因子の影響を受けたのではないかと考えられる。また、ゲルより約 100 m 西側には放牧圧が急に高くなっている場所があることが分かる。この付近には川やワジがある。このことから、放牧圧がこれらの環境因子の影響を受けているのではないかと考えられる。また、ゲルより約 1 km 南東の崖の手前側にも、放牧圧が高くなってい

る場所があることが分かる。この近くには井戸が存在することから、放牧圧が井戸の影響を受けたのではないかと考えられる。

また、動物ごとの放牧圧分布図として、夏季ゲルの羊の放牧圧分布図と土地利用区分図を図 9 に、夏季ゲルの山羊の放牧圧分布図と土地利用区分図を図 10 に、夏季ゲルの牛の放牧圧分布図と土地利用区分図を図 11 に示す。これらの図を見ると、羊と山羊の放牧圧分布はほとんど同じであり、牛の放牧圧分布はこれらとは異なっていることが分かる。また、羊や山羊はゲルの南側や西側に、比較的多く分布しており、牛はゲルの北側や東側に比較的多く分布していることが分かる。羊や山羊は水に近い場所を好み、崖を嫌う傾向が大きいのだと考えられる。

3.1.2. 冬季ゲル 1 の放牧圧分布

冬季ゲル 1 の放牧圧分布図と地形図を図 12 に示す。

図中の GI (SEU/ha) が放牧圧を示していて、緑から赤になるほど放牧圧が高くなっていることを表している。黒い旗はゲル（移動式住居）である。放牧圧分布図の内部に位置しているゲルが、この図に示した冬季ゲル 1 であり、図の下部に位置しているゲルは冬季ゲル 2 である。この図では、冬季ゲル 1 の家畜による放牧圧分布図のみを示している。また青い丸は井戸である。この付近は傾斜が比較的急であるので、標高値の色分け及び等高線は 100 m 間隔で作成した。

地形図を見ると、夏季ゲル付近に比べて標高が高くなっていることが分かる。また、傾斜も急になっていることが分かる。ゲルの北東方向には高い山があり、標高 1500 m の等高線はゲルの約 1 km 東側まで延びてきていることが分かる。また、ゲルの北西方向にも高い山があるが、ゲルからの距離はかなり離れていることが分かる。ゲルと同じくらいの標高の場所は、ゲルより北西方向及び南東方向に広がっていることが分かる。また、ゲルより約 1 km 南西方向には、標高 1300 m の等高線があり、それより先は低い標高となっていることが分かる。

放牧圧分布図を全体的に見ると、ゲルから離れるほど放牧圧が小さくなるという傾向は示していることが分かる。しかし、夏季ゲルとは異なり、分布の形は同心円状とは言えない形である。ゲルよりすぐ北側には放牧圧が分布していない場所があるが、さらに北方向には、放牧圧の分布がゲルからの距離約 4 km まで広がっている。ゲルより北西方向にも、ゲルからの距離約 4 km まで放牧圧の分布が広がっているが、これらの間の北北西方向には、放牧が行われていない場所があることが分かる。ゲルより西方向及びゲルより南方向には、放牧圧の分布が、ゲルからの距離約 3 km まで広がっているが、これらの間の南西方向には、ゲルからの距離約 2 km 程度の広がりとなっている。また、東方向にはゲルからの距離約 1 km 程度まで放牧圧の分布が広がっているが、南東方向には、ゲルからの距離約 500 m 程度の広がりにとどまっている。また、北東方向には、ゲルからの距離約 2 km まで放牧圧の分布が広がっている。

これらを総合的に見ると、放牧圧の分布は、主にゲルが位置している場所と同じ標高帯で広がっている傾向があることが分かる。標高 1400 m 以上の場所、及び標高 1300 m 以下では、放牧圧が一気に小さくなっており、標高 1500 m 以上の場所に関しては、放牧はほとんど行われていないことが分かる。とりわけ、ゲルより南西方向及びゲルより東・北東・北方向では、地形に沿った放牧圧分布となっていることが顕著に見える。このことから、放牧圧の分布は地形の影響を大きく受けているのではないかと考えられる。

内部を細かく見ると、ゲルより約 2 km 北側に、放牧圧が高くなっている場所があることが分かる。

この周辺はヘルレン川周辺に比べて比較的寒さが少ない (Gerelsuren, 2006, 私信) ことから、放牧圧が高くなっている場所は、高い山の風下となっていて、この周辺の中でも特に快適な場所なのではないかと考えられる。

また、動物ごとの放牧圧分布図として、冬季ゲル 1 の羊の放牧圧分布図と地形図を図 13 に、冬季ゲル 1 の山羊の放牧圧分布図と地形図を図 14 に、冬季ゲル 1 の牛の放牧圧分布図と地形図を図 15 に示す。これらの図を見ると、羊と山羊の放牧圧分布はほとんど同じであり、牛の放牧圧分布はこれらとは異なっていることが分かる。また、羊や山羊はゲルの北西方向の、同じ標高帯に比較的多く分布していることが分かる。

3.1.3. 冬季ゲル 2 の放牧圧分布

冬季ゲル 2 の放牧圧分布図と地形図を図 16 に示す。

図中の GI (SEU/ha) が放牧圧を示していて、緑から赤になるほど放牧圧が高くなっていることを表している。黒い旗はゲル (移動式住居) である。放牧圧分布図の内部に位置しているゲルが、この図に示した冬季ゲル 2 であり、図の上部に位置しているゲルは冬季ゲル 1 である。この図では、冬季ゲル 2 の家畜による放牧圧分布図のみを示している。また青い丸は井戸である。この付近は傾斜が比較的急であるので、標高値の色分け及び等高線は 100 m 間隔で作成した。

地形図を見ると、冬季ゲル 1 と同じく、夏季ゲル付近に比べて標高が高くなっていることが分かる。また、傾斜も急になっていることが分かる。ゲルの東方向には高い山があり、標高 1400 m の等高線はゲルの約 500 m 北側まで延びてきていることが分かる。また、ゲルより南南東の方向のゲルからの距離約 2 km の場所には尾根が延びていることが分かる。ゲルより西側にはおおよそ南北方向に延びる 1300 m の等高線があり、それより先は標高が低くなっていることが分かる。また、ゲルより西側の方向のゲルからの距離約 4 km の場所には、比較的小さな山があることが分かる。

放牧圧分布図を全体的に見ると、完全に同心円状ではなく、主にゲルから北西方向と南西方向に伸びており、ゲルからの距離約 6 km にまで達していることが分かる。これらの方向は比較的傾斜が緩やかなので、このことが放牧圧が高くなっている原因であると考えられる。また、これらの間の西方向にはそれほど伸びておらず、ゲルからの距離約 3 km 程度にとどまっていることが分かる。この方向には小さな山があるので、この山の存在が、放牧圧の分布に影響を与えたのではないかと考えられる。また、ゲルから北方向及び東方向にはほとんど伸びていないことが分かる。この方向には高い山あり、特に標高 1400 m 以上の場所では放牧が行われていないことから、この山の存在が、放牧圧に大きく影響を与えたのではないかと考えられる。

内部を細かく見ると、ゲルより南西方向のゲルからの距離約 5 km の場所で放牧圧が高くなっていることが分かる。傾斜が比較的緩やかなことが、放牧圧が高い原因になっているのではないかと考えられる。

また、動物ごとの放牧圧分布図として、冬季ゲル 1 の羊の放牧圧分布図と地形図を図 17 に、冬季ゲル 1 の山羊の放牧圧分布図と地形図を図 18 に、冬季ゲル 1 の牛の放牧圧分布図と地形図を図 19 に示す。これらの図を見ると、羊と山羊の放牧圧分布はほとんど同じであり、牛の放牧圧分布はこれらとは異なっていることが分かる。また、羊や山羊はゲルの北西方向にも分布しているが、牛は分布していないことが分かる。

3.1.4. 放牧圧分布の全体的な傾向

図 8 から図 19 を総合的に考察すると、放牧圧は場所によって程度の違いこそあるが、ゲルからの距離や地形などの環境因子の影響を受けていると考えられる。また、その影響の受け方は場所によって異なっていると考えられる。比較的平らな場所では、ゲルからの距離の影響を大きく受けやすく、傾斜が比較的急な場所では、ゲルからの距離の影響以外の他の環境因子の影響も大きく受けられていると考えられる。そのため放牧圧の広がりに関しても、比較的平らな場所では、同心円状に近い形になり、傾斜が比較的急な場所では、同心円状とは言えない形になっている。また、放牧圧の最高到達点は、同心円状に近い分布に比べて、同心円状とは言えない形の分布のほうが遠くまで行っていることが分かる。

3.2. 環境因子の分布

夏季ゲルにおけるゲルからの距離の分布図を図 20 に、夏季ゲルにおけるゲルとの標高差の分布図を図 21 に、夏季ゲルにおける傾斜角の分布図を図 22 に、夏季ゲルにおける傾斜方向の分布図を図 23 に、夏季ゲルにおける川からの最短距離の分布図を図 24 に、夏季ゲルにおけるワジからの最短距離の分布図を図 25 に、夏季ゲルにおける直近の井戸から最短距離の分布図を図 26 に示す。

冬季ゲル 1 におけるゲルからの距離の分布図を図 27 に、冬季ゲル 1 におけるゲルとの標高差の分布図を図 28 に、冬季ゲル 1 における傾斜角の分布図を図 29 に、冬季ゲル 1 における傾斜方向の分布図を図 30 に、冬季ゲル 1 における直近の井戸からの最短距離の分布図を図 31 に示す。

冬季ゲル 2 におけるゲルからの距離の分布図を図 32 に、冬季ゲル 2 におけるゲルとの標高差の分布図を図 33 に、冬季ゲル 2 における傾斜角の分布図を図 34 に、冬季ゲル 2 における傾斜方向の分布図を図 35 に、冬季ゲル 2 における直近の井戸からの最短距離の分布図を図 36 に示す。

3.3. 放牧圧と環境因子の関係

夏季ゲルにおける放牧圧とゲルからの距離の散布図を図 37 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸はゲルからの距離 (m) である。高い放牧圧は、ゲルからの距離 0 m から約 1500 m までの間に多く分布していることが分かる。また、低い放牧圧は、ゲルからの距離 0 m から 3000 m までの間に多く分布していることが分かる。

夏季ゲルにおける放牧圧とゲルとの標高差の散布図を図 38 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸はゲルとの標高差 (m) である。高い放牧圧は、ゲルとの標高差 0 m 付近に多く分布していることが分かる。また、低い放牧圧は、ゲルとの標高差 0 m から 20 m までの間に多く分布していることが分かる。

夏季ゲルにおける放牧圧と傾斜角の散布図を図 39 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は傾斜角 (°) である。傾斜角 0° から 1° の間に、高い放牧圧が多く分布していることが分かる。

夏季ゲルにおける放牧圧と傾斜方向の散布図を図 40 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は傾斜方向 (°) である。放牧圧は傾斜方向によらず分布していることが分かる。

夏季ゲルにおける放牧圧と川からの最短距離の散布図を図 41 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は川からの最短距離 (m) である。高い放牧圧は、川からの最短距離 0 m から約 1500 m の間に多く分布していることが分かる。また、低い放牧圧は、川からの最短距離 0 m から約 3000 m の間に多く分布していることが分かる。

夏季ゲルにおける放牧圧とワジからの最短距離の散布図を図 42 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸はワジからの最短距離 (m) である。高い放牧圧は、ワジからの最短距離 0 m から約 300 m の間に多く分布していることが分かる。また、低い放牧圧は、ワジからの最短距離 0 m から約 2000 m の間に多く分布していることが分かる。

夏季ゲルにおける放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図を図 43 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は直近の井戸からの最短距離 (m) である。放牧圧は全体として、直近の井戸からの最短距離 0 m から約 3000 m の間に多く分布していることが分かる。

また、夏季ゲルにおける動物ごとの同様の散布図を図 44 から図 64 に示す。

冬季ゲル 1 における放牧圧とゲルからの距離の散布図を図 65 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸はゲルからの距離 (m) である。放牧圧は全体として、ゲルからの距離 0 m から約 3000 m の間に多く分布していることが分かる。

冬季ゲル 1 における放牧圧とゲルとの標高差の散布図を図 66 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸はゲルとの標高差 (m) である。放牧圧は全体として、ゲルとの標高差約-50 m から約 200 m の間に多く分布しており、特に、ゲルとの標高差約-50 m から約 0 m の間に非常に多く分布していることが分かる。

冬季ゲル 1 における放牧圧と傾斜角の散布図を図 67 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は傾斜角 (°) である。放牧圧は全体として、傾斜角 0°から約 30°の間に広く分布しており、特に、傾斜角 0°から約 5°の間に非常に多く分布していることが分かる。

冬季ゲル 1 における放牧圧と傾斜方向の散布図を図 68 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は傾斜方向 (°) である。放牧圧は全体として、傾斜方向約 60°から約 300°の間に広く分布していることが分かる。

冬季ゲル 1 における放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図を図 69 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は直近の井戸からの最短距離 (m) である。放牧圧は全体として、直近の井戸からの最短距離約 1000 m から約 4000 m の間に多く分布していることが分かる。

また、冬季ゲル 1 における動物ごとの同様の散布図を図 70 から図 84 に示す。

冬季ゲル 2 における放牧圧とゲルからの距離の散布図を図 85 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸はゲルからの距離 (m) である。放牧圧は全体として、ゲルからの距離 0 m から約 5000 m の間に多く分布していることが分かる。

冬季ゲル 2 における放牧圧とゲルとの標高差の散布図を図 86 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸はゲルとの標高差 (m) である。放牧圧は全体として、ゲルとの標高差約-50 m から約 0 m の間に多く分布していることが分かる。

冬季ゲル 2 における放牧圧と傾斜角の散布図を図 87 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は傾斜角 (°) である。放牧圧は全体として、傾斜角 0°から約 15°の間に広く分布しており、特に、傾斜角 0°から約 5°の間に非常に多く分布していることが分かる。

冬季ゲル 2 における放牧圧と傾斜方向の散布図を図 88 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は傾斜方向 (°) である。放牧圧は全体として、傾斜方向約 60°から約 300°の間に広く分布していることが分かる。

冬季ゲル 2 における放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図を図 89 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は直近の井戸からの最短距離 (m) である。放牧圧は全体として、直近の

井戸からの最短距離 0 m から約 3500 m の間に多く分布していることが分かる。

また、冬季ゲル 2 における動物ごとの同様の散布図を図 90 から図 104 に示す。

冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧とゲルからの距離の散布図を図 105 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸はゲルからの距離 (m) である。放牧圧は全体として、ゲルからの距離 0 m から約 5000 m の間に多く分布していることが分かる。

冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧とゲルとの標高差の散布図を図 106 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸はゲルとの標高差 (m) である。放牧圧は全体として、ゲルとの標高差約-150 m から約 200 m の間に分布しており、特にゲルとの標高差約-150 m から約 100 m の間と、約-50 m から約 0 m の間に非常に多く分布していることが分かる。

冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧と傾斜角の散布図を図 107 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は傾斜角 (°) である。放牧圧は全体として、傾斜角 0°から約 30°の間に広く分布しており、特に、傾斜角 0°から約 5°の間に非常に多く分布していることが分かる。

冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧と傾斜方向の散布図を図 108 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は傾斜方向 (°) である。放牧圧は全体として、傾斜方向約 60°から約 300°の間に広く分布していることが分かる。

冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図を図 109 に示す。図の縦軸は放牧圧 (SEU/ha) であり、横軸は直近の井戸からの最短距離 (m) である。放牧圧は全体として、直近の井戸からの最短距離 0 m から約 4000 m の間に多く分布していることが分かる。

また、冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における動物ごとの同様の散布図を図 110 から図 124 に示す。

3.4. 重回帰分析

重回帰分析によって求められた、各ゲルの主要な放牧圧の説明変数を表 5 に示す。

夏季ゲルの放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.135 - 3.449 \times 10^{-5} g + 0.037 c + 0.001 h + 3.998 \times 10^{-6} t \quad (2)$$

ここで、 GI は放牧圧 (SEU/ha)、 g はゲルからの距離 (m)、 c は崖の上下 (ダミー変数)、 h はゲルとの標高差 (m)、 t はワジからの最短距離である。この式の重決定係数 R^2 は 0.090 である。

夏季ゲルの羊の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.053 - 1.348 \times 10^{-5} g + 0.015 c \quad (3)$$

この式の重決定係数 R^2 は 0.064 である。

夏季ゲルの山羊の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.040 - 1.014 \times 10^{-5} g + 0.011 c \quad (4)$$

この式の重決定係数 R^2 は 0.063 である。

夏季ゲルの牛の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.042 - 1.076 \times 10^{-5} g + 0.009 c + 0.01 h - 1.507 \times 10^{-6} r \quad (5)$$

ここで、 r は川からの最短距離である。この式の重決定係数 R^2 は 0.057 である。
冬季ゲル 1 の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.146 - 2.999 \times 10^{-5} g - 5.827 \times 10^{-5} h \quad (6)$$

この式の重決定係数 R^2 は 0.082 である。
冬季ゲル 1 の羊の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.056 - 1.142 \times 10^{-5} g - 2.355 \times 10^{-5} h \quad (7)$$

この式の重決定係数 R^2 は 0.073 である。
冬季ゲル 1 の山羊の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.069 - 1.131 \times 10^{-5} g - 7.144 \times 10^{-5} h - 3.731 \times 10^{-6} w \quad (8)$$

ここで w は直近の井戸からの最短距離である。この式の重決定係数 R^2 は 0.046 である。
冬季ゲル 1 の牛の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.060 - 1.026 \times 10^{-5} g - 3.366 \times 10^{-5} w \quad (9)$$

この式の重決定係数 R^2 は 0.028 である。
冬季ゲル 2 の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.220 - 3.679 \times 10^{-5} g - 1.155 \times 10^{-5} w \quad (10)$$

この式の重決定係数 R^2 は 0.058 である。
冬季ゲル 2 の羊の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.095 - 1.501 \times 10^{-5} g - 7.790 \times 10^{-5} h - 4.501 \times 10^{-6} w \quad (11)$$

この式の重決定係数 R^2 は 0.048 である。
冬季ゲル 2 の山羊の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.069 - 1.131 \times 10^{-5} g - 7.144 \times 10^{-5} h - 3.731 \times 10^{-6} w \quad (12)$$

この式の重決定係数 R^2 は 0.046 である。

冬季ゲル 2 の牛の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.060 - 1.026 \times 10^{-5} g - 3.366 \times 10^{-5} w \quad (13)$$

この式の重決定係数 R^2 は 0.028 である。

冬季ゲル 1+冬季ゲル 2 の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.187 - 3.292 \times 10^{-5} g - 5.412 \times 10^{-6} w \quad (14)$$

この式の重決定係数 R^2 は 0.060 である。

冬季ゲル 1+冬季ゲル 2 の羊の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.077 - 1.294 \times 10^{-5} g - 5.529 \times 10^{-5} h - 2.600 \times 10^{-6} w \quad (15)$$

この式の重決定係数 R^2 は 0.049 である。

冬季ゲル 1+冬季ゲル 2 の山羊の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.057 - 9.919 \times 10^{-6} g - 4.850 \times 10^{-5} h - 2.114 \times 10^{-6} w \quad (16)$$

この式の重決定係数 R^2 は 0.042 である。

冬季ゲル 1+冬季ゲル 2 の牛の放牧圧の関数を以下に示す。

$$GI = 0.046 - 9.987 \times 10^{-6} g - 1.855 \times 10^{-5} h + 2.301 \times 10^{-5} \phi - 1.028 \times 10^{-6} w \quad (17)$$

ここで ϕ は傾斜方向である。この式の重決定係数 R^2 は 0.028 である。

これらの結果をみると、重決定係数 R^2 の値がかなり小さいことが分かる。放牧圧と環境因子との散布図を見るとあまり線形の形になっていないため、今回のような線形を仮定した重回帰分析だと正しく関数化が行われていない可能性があり、このことが重決定係数 R^2 の値が低い原因ではないかと考えられる。

これらを解決する方法としては、重回帰分析を行う前段階で、放牧圧との関係を線形に近づけるために、説明変数である環境因子の値を非線形の形に変形する方法が考えられる。しかし、一言で非線形といっても式の形は無数に存在するので、まずは放牧圧を表すのに最適な式の形を、説明変数ごとに特定することが先決である。

4. 結論

夏季ゲル、冬季ゲル 1、冬季ゲル 2 について放牧圧の分布図を作成した。

夏季ゲルでは、全体的に見ると、放牧圧はおもにゲルからの距離約 3 km まで広がっており、それより先は放牧が行われていないことが分かった。同心円状に近い形で、ゲルから離れるほど放牧圧が小さくなる傾向にあることが分かった。内部を細かく見ると、ゲルより約 1 km 東側の崖の付近で放牧圧が急に低くなっていることが分かった。ゲルより 100 m 西側の川やワジの付近で放牧圧が急に高くなっていることが分かった。

冬季ゲル 1 では、全体的に見ると、ゲルから離れるほど放牧圧が小さくなる傾向はあるが、夏季ゲルとは異なり放牧圧の分布は、同心円状とは言えない形である。山がない方向には放牧圧の分布が伸びているが、山がある方向にはあまり伸びていないことが分かった。

冬季ゲル 2 では、全体的に見ると、放牧圧の分布は完全に同心円状ではないことが分かった。ゲルから北方向及び東方向にはほとんど伸びていないことが分かった。山がない方向には放牧圧の分布が伸びているが、山がある方向にはあまり伸びていないことが分かった。

放牧圧の主要な説明変数と、放牧圧を表す関数を求めることができたが、精度があまり良くない。この問題を解決するためには、環境因子の値を変形することが必要である。

謝辞

本研究を行うにあたり、筑波大学大学院生命環境系の杉田倫明先生には始終熱心なご指導を頂きました。深く感謝申し上げます。

筑波大学水文科学分野の諸先生方、ならびに諸先輩方には貴重なご助言を頂きました。杉田研究室の皆様にはゼミの度に的確なご意見を頂くとともに、日常生活等に関する多数のアドバイスも頂きました。元筑波大学生命環境科学研究科の吉井英治氏、**Byambakhuu** 氏には、本研究に不可欠なデータを提供して頂きました。以上の方々と本研究に対して応援いただいた全ての方々に、この場を借りて感謝申し上げます。

最後に、大学を卒業するまで私を支えてくださった家族に心より感謝申し上げます。

引用文献

- Abe, Y. (2004): Study on Groundwater Flow System in the Kherlen River Basin, Mongolia. MS Thesis, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 63p., Appendix 8p.
- Byambakhuu, I. (2011): Study of Ecohydrological Responses to Global Warming and Grazing Pressure Changes in Mongolian Semi-arid Region. Ph.D Thesis, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 246p.
- Davaa, G. (2008): Well Database of Mongolia. 私信.
- Jarvis, A., Reuter, H.I., Nelson, A., and Guevara, E. (2008): Hole-filled Seamless SRTM Data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), <http://srtm.csi.cgiar.org>, 2012年閲覧.
- Kato, H., (2007): Influence of Grazing on Vegetation, Surface Energy and Water Balance over the Mongolian Steppe. MS Thesis, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 111p.
- Kawamura, K. (2005): Application of Satellite Remote Sensing and GIS/GPS for Sustainable Use of Inner Mongolia Grassland. Ph.D Thesis, Gifu University. 160p.
- Putfarken, D., Dengler, J., Lehmann, S., and Härdtle, W. (2008): Site use of grazing cattle and sheep in a large-scale pasture landscape: A GPS/GIS assessment. Applied Animal Behaviour Science, 111, 54-67.
- Saandar, M. and Sugita, M. (2004): Digital Atlas of Mongolian Natural Environments, (1) Vegetation, Soil, Ecology and Water, CD-ROM, Monmap Engineering Service Co.,Ltd, Ulaanbaatar 210646, Mongolia.
- 株式会社シーシーエス. (2002): ASTER 標高・オルソデータセット, <http://gmart.ccs.co.jp/ja/>, 2002年閲覧, (現在はアクセス不可, 同様のものは RAISE Project <http://raise.suiri.tsukuba.ac.jp/new/member/satellite/README.HTM> で閲覧可能.)
- 篠田雅人 (2002): 砂漠と気候. 成山堂書店, 118-119.
- 長沢孝司・尾崎孝宏: モンゴル遊牧社会と馬文化, 60-62.
- 吉井英治 (2008): モンゴルの半乾燥草原地域において放牧が炭素動態に与える影響. 筑波大学大学院環境科学研究科修士学位論文, 85p.
- 吉澤新太郎 (2010): モンゴルの乾燥・半乾燥地域における持続可能な水利用に関する研究. 筑波大学大学院環境科学研究科修士学位論文, 89p.

表 1 ゲルごとの家畜頭数 (吉井, 2008 をもとに作成)

動物	羊	山羊	牛
夏季ゲル	100	100	16
冬季ゲル1	100	100	16
冬季ゲル2	211	211	18

表2 観測に用いられた GPS 機器 (吉井, 2008)

機種	GARMIN CO., Ltd. eTrex	EMPEX Inc. 38EX	Sony Inc. handy GPS
個数	6	2	5
寸法(mm)	112×52×29	146×51×34	44×70×14
重量	150 g (電池含 む)	269 g (電池含 む)	44 g (電池含ま ず)
位置精度	± 1.5 m	± 15m	± 10m

表 3 夏季に観測された GPS 機器ごとの動物の種類

GPS 機器	7月28日	7月29日	7月30日	7月31日	8月1日	8月2日	8月3日
eTrex 1	牛	牛	使用不可	牛	使用不可	馬	牛
eTrex 2	使用不可	山羊	羊	使用不可	山羊	牛	使用不可
eTrex 3	羊	山羊	牛	羊	使用不可	羊	山羊
eTrex 4	山羊	羊	山羊	山羊	牛	山羊	羊
eTrex 5	使用不可	使用不可	羊	羊	使用不可	山羊	山羊
eTrex 6	山羊	羊	山羊	山羊	羊	羊	羊
38EX 1	羊	使用不可	羊	山羊	使用不可	羊	使用不可
38EX 2	使用不可	羊	使用不可	羊	使用不可	使用不可	使用不可
handy 5	使用不可	牛	山羊	使用不可	使用不可	牛	山羊
handy 6	山羊	羊	牛	使用不可	山羊	山羊	羊
handy 14	牛	使用不可	使用不可	羊	使用不可	山羊	使用不可
handy 16	羊	山羊	牛	山羊	牛	牛	羊
handy 19	使用不可	使用不可	羊	使用不可	使用不可	羊	使用不可

表 4 冬季に観測された GPS 機器ごとの動物の種類とゲルの種類

GPS 機器	2月26日	2月27日	2月28日	3月1日	3月2日	3月3日	3月4日
eTrex 1	使用不可	使用不可	牛 冬季ゲル2	牛 冬季ゲル2	羊 冬季ゲル2	羊 冬季ゲル2	羊 冬季ゲル2
eTrex 2	羊か山羊 冬季ゲル1	山羊 冬季ゲル1	牛 冬季ゲル1	使用不可	使用不可	使用不可	使用不可
eTrex 3	羊か山羊 冬季ゲル1	使用不可	山羊 冬季ゲル1	山羊 冬季ゲル1	使用不可	使用不可	使用不可
eTrex 4	羊か山羊 冬季ゲル2	牛 冬季ゲル1	羊 冬季ゲル1	羊 冬季ゲル1	山羊 冬季ゲル1	山羊 冬季ゲル2	山羊 冬季ゲル2
eTrex 5	羊か山羊 冬季ゲル2	羊 冬季ゲル1	羊 冬季ゲル2	羊 冬季ゲル2	羊 冬季ゲル1	羊 冬季ゲル1	羊 冬季ゲル1
eTrex 6	牛 冬季ゲル2	山羊 冬季ゲル2	山羊 冬季ゲル2	山羊 冬季ゲル2	山羊 冬季ゲル2	山羊 冬季ゲル1	山羊 冬季ゲル1
38EX 1	使用不可	使用不可	使用不可	牛 冬季ゲル1	牛 冬季ゲル1	牛 冬季ゲル2	牛 冬季ゲル2
38EX 2	牛 冬季ゲル1	牛 冬季ゲル2	使用不可	使用不可	牛 冬季ゲル2	牛 冬季ゲル1	牛 冬季ゲル1

表 5 各ゲルにおける放牧圧の主要な説明変数

ゲルと動物の種類	説明変数 1	説明変数 2	説明変数 3
夏季ゲル	ゲルからの距離	崖の上下	ゲルとの標高差
夏季ゲル 羊	ゲルからの距離	崖の上下	ゲルとの標高差
夏季ゲル 山羊	ゲルからの距離	崖の上下	ゲルとの標高差
夏季ゲル 牛	ゲルからの距離	崖の上下	ゲルとの標高差
冬季ゲル1	ゲルからの距離	ゲルとの標高差	
冬季ゲル1 羊	ゲルからの距離	ゲルとの標高差	
冬季ゲル1 山羊	ゲルからの距離	ゲルとの標高差	直近の井戸からの最短距離
冬季ゲル1 牛	ゲルからの距離	直近の井戸からの最短距離	
冬季ゲル2	ゲルからの距離	直近の井戸からの最短距離	ゲルとの標高差
冬季ゲル2 羊	ゲルからの距離	ゲルとの標高差	直近の井戸からの最短距離
冬季ゲル2 山羊	ゲルからの距離	ゲルとの標高差	直近の井戸からの最短距離
冬季ゲル2 牛	ゲルからの距離	直近の井戸からの最短距離	
冬季ゲル1+冬季ゲル2	ゲルからの距離	ゲルとの標高差	直近の井戸からの最短距離
冬季ゲル1+冬季ゲル2 羊	ゲルからの距離	ゲルとの標高差	直近の井戸からの最短距離
冬季ゲル1+冬季ゲル2 山羊	ゲルからの距離	ゲルとの標高差	直近の井戸からの最短距離
冬季ゲル1+冬季ゲル2 牛	ゲルからの距離	ゲルとの標高差	傾斜方向

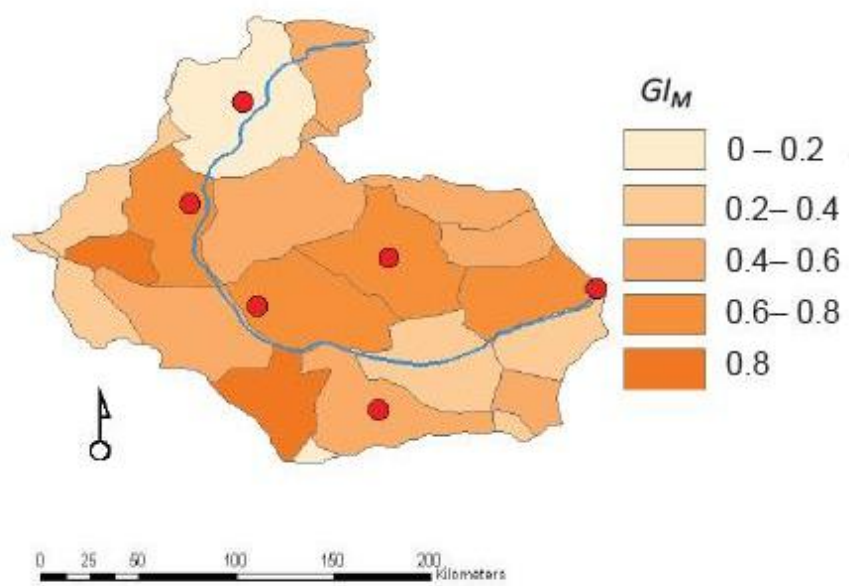


図 1 2003 年モンゴル統計局データによるヘルレン川上流流域の放牧圧(GI_M)空間分布 (Byambakhuu,2011)

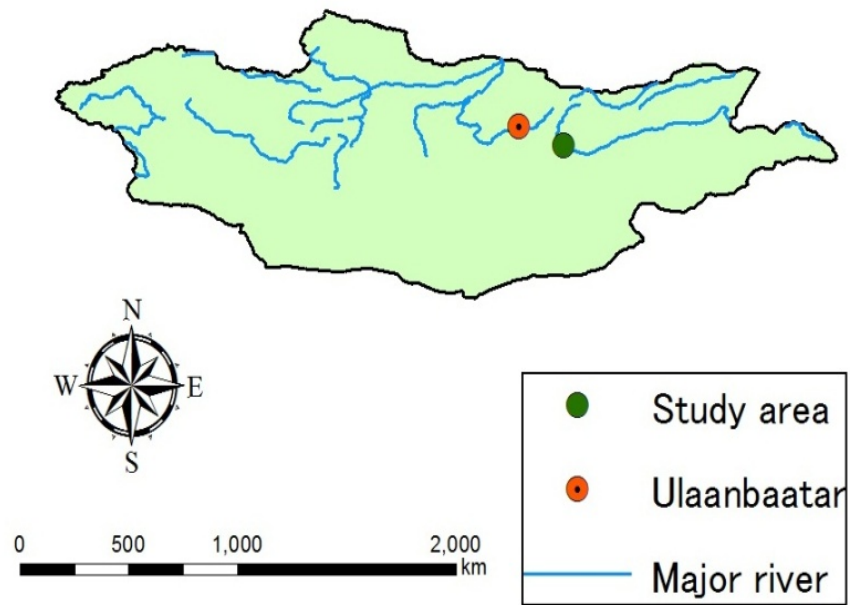


図 2 モンゴル国全体図

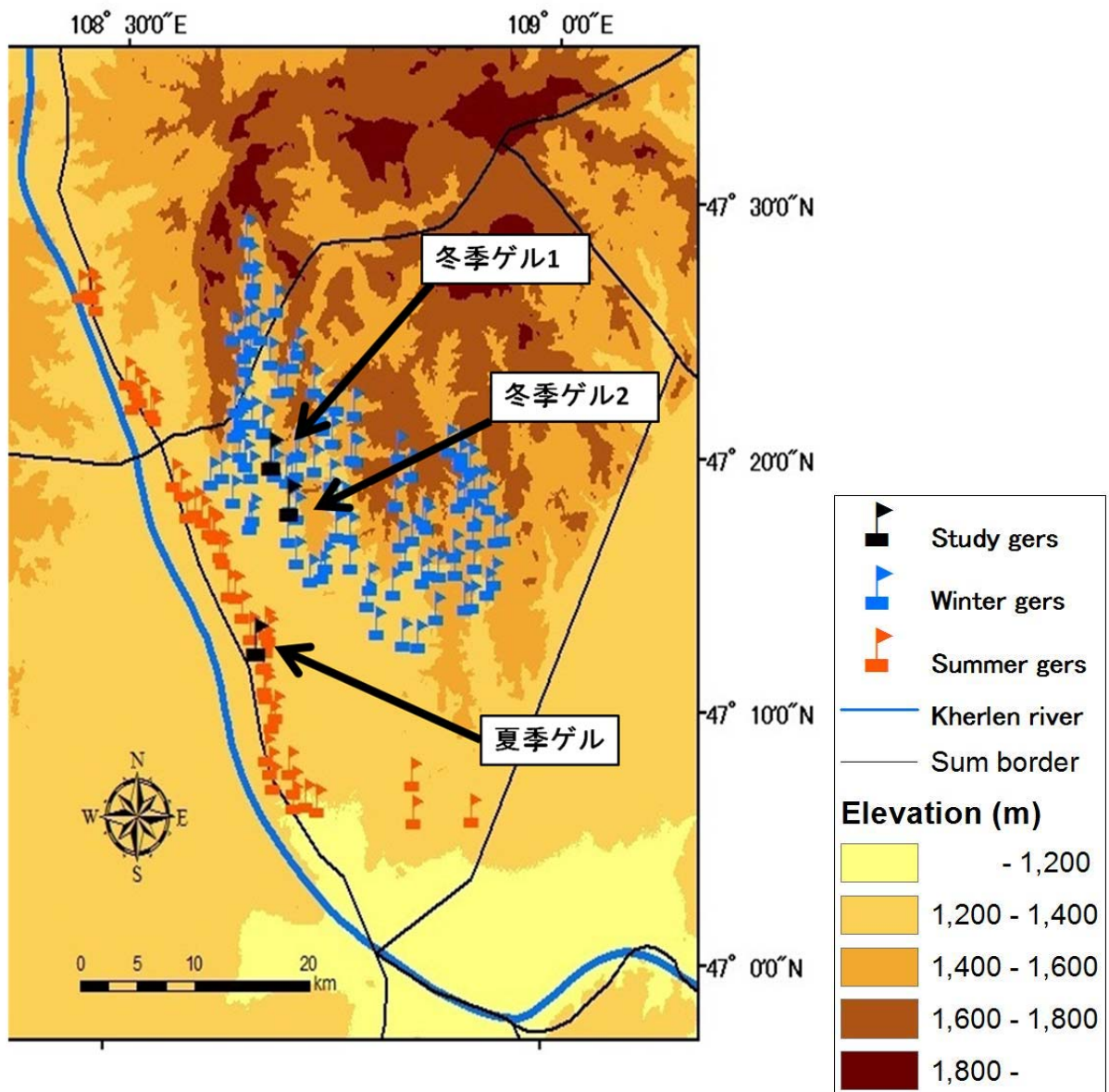


図 3 旧ヘルレンバイヤンウラン郡周辺図

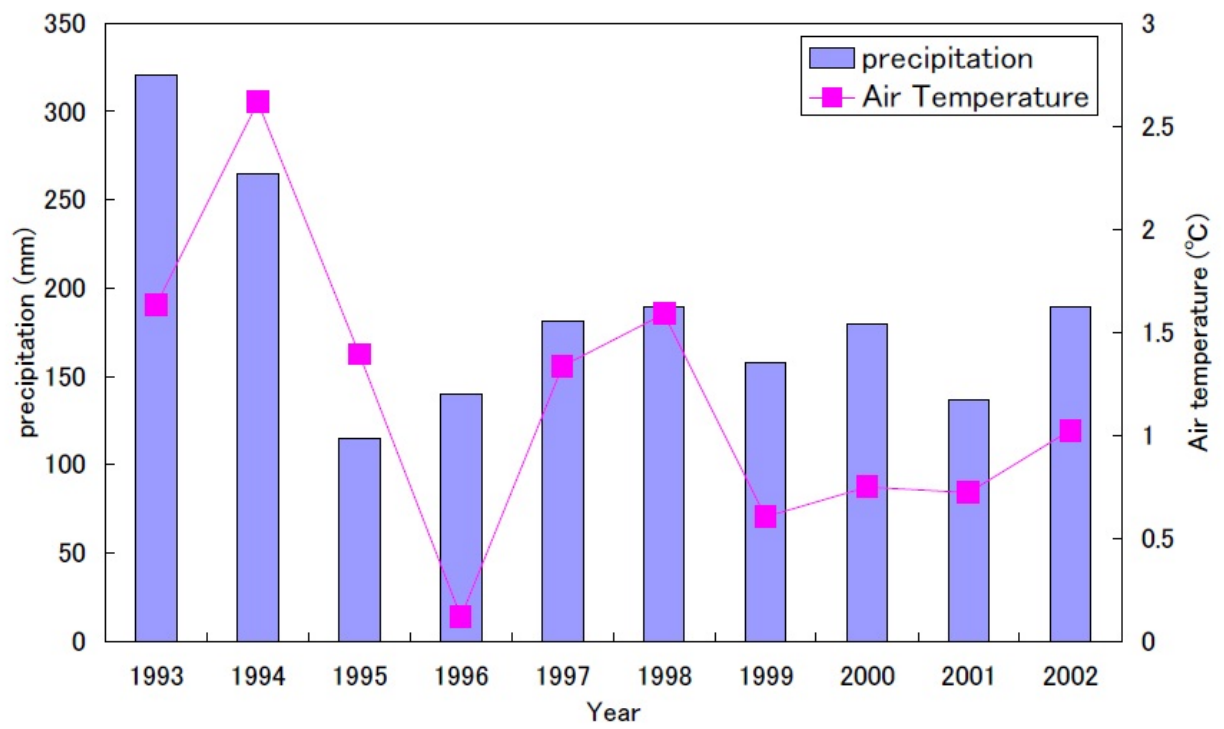


図 4 ヘルレンバイヤンウランの気温・降水量の経年変化 (Kato, 2007)

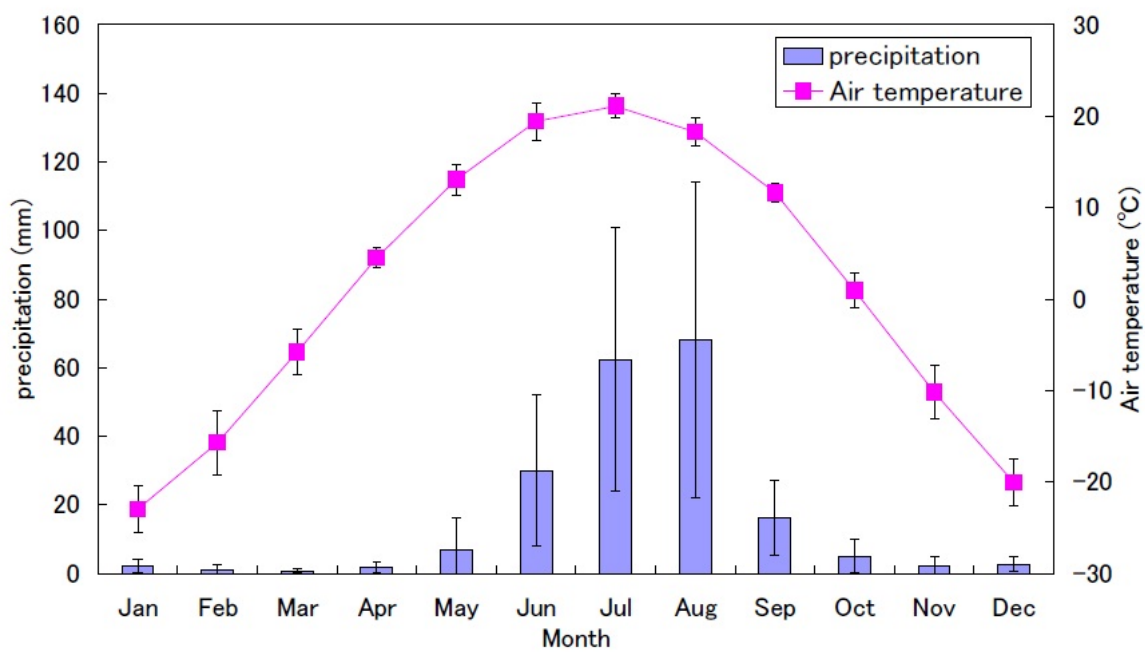


図 5 ヘルレンバイヤンウランの気温・降水量の季節変化 (Kato, 2007)



図 6 放牧に向かう動物（吉井, 2008）



図 7 GPS 機器が設置された動物 (吉井, 2008)

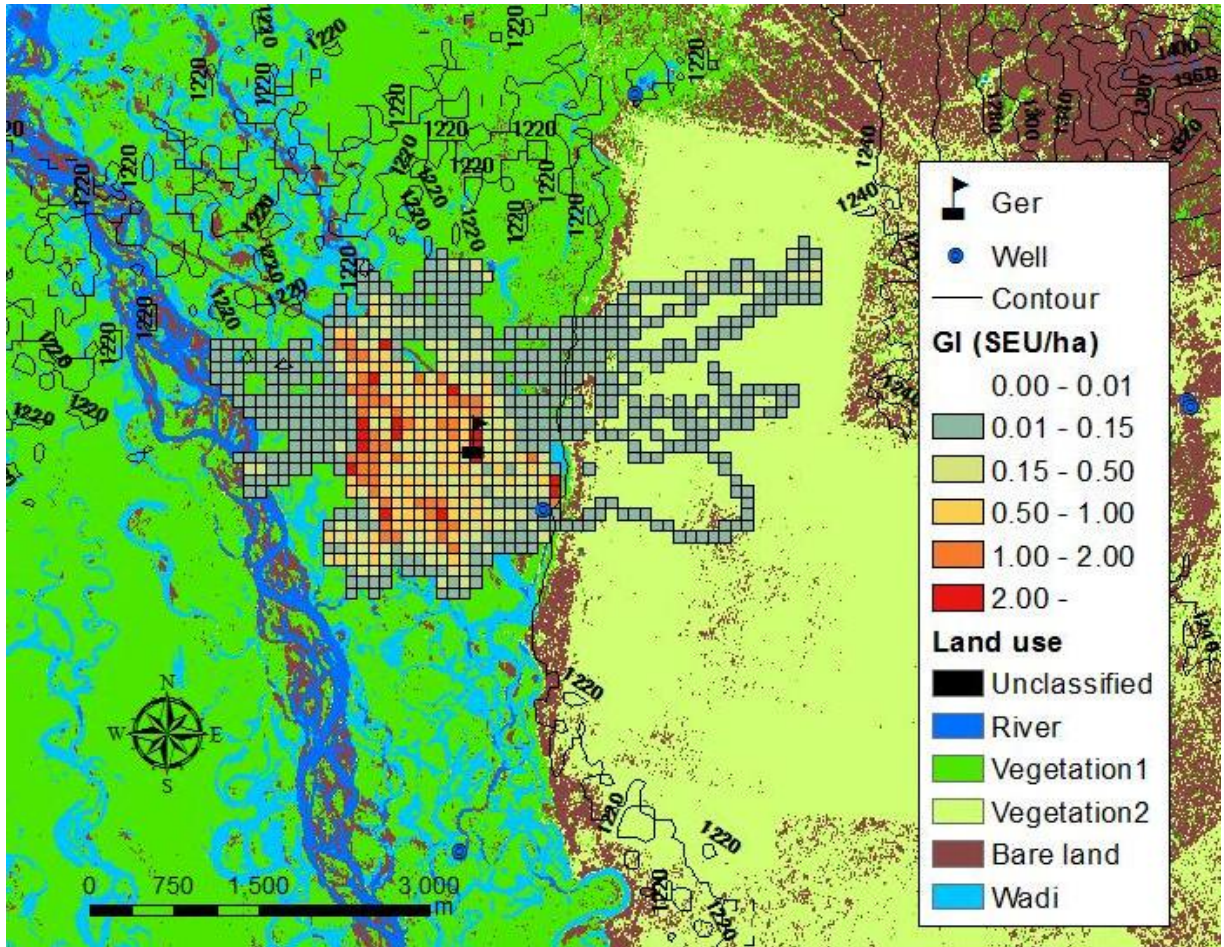


図 8 夏季ゲルの放牧庄分布図と土地利用区分図

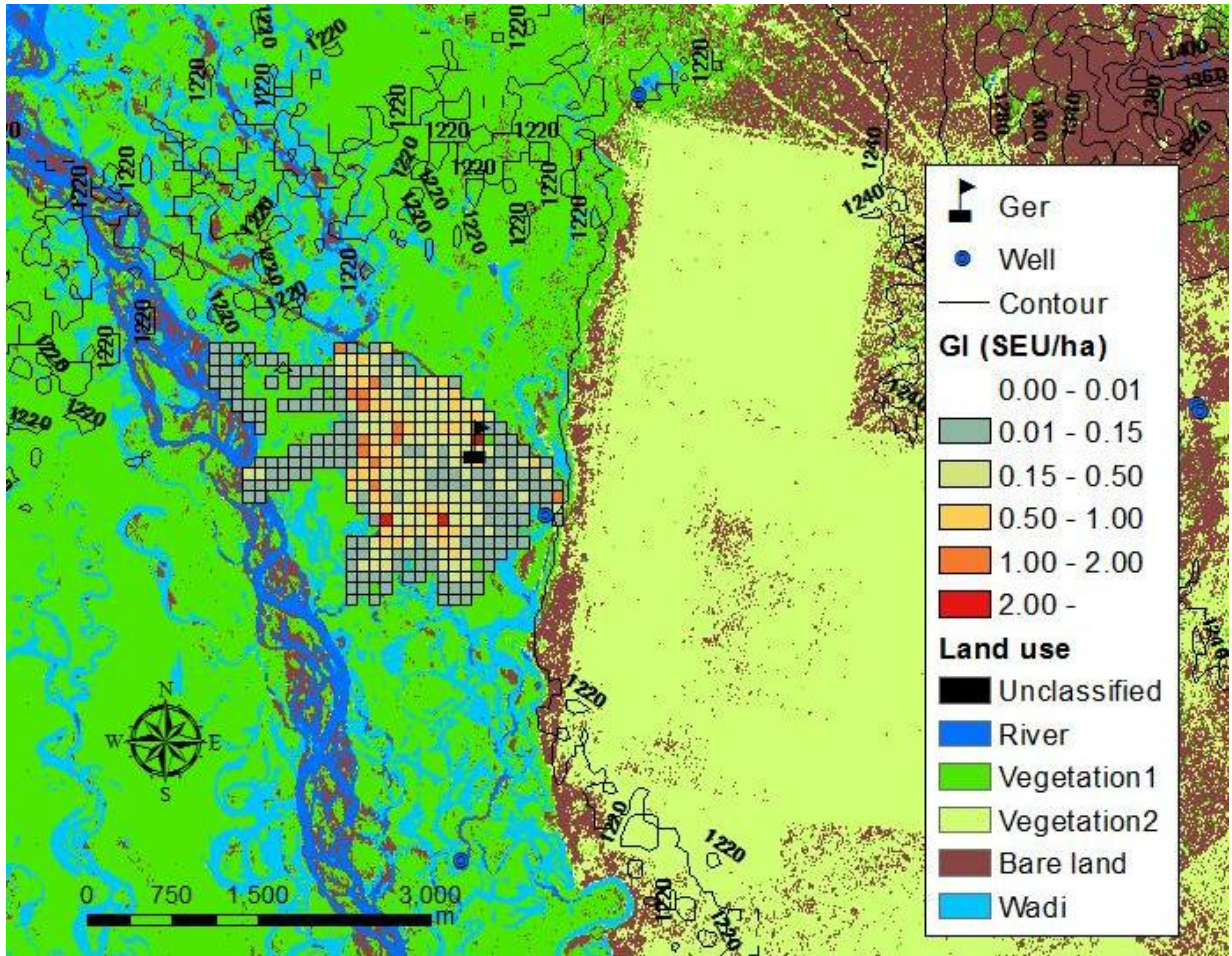


図 9 夏季ゲルの羊の放牧庄分布図と土地利用区分図

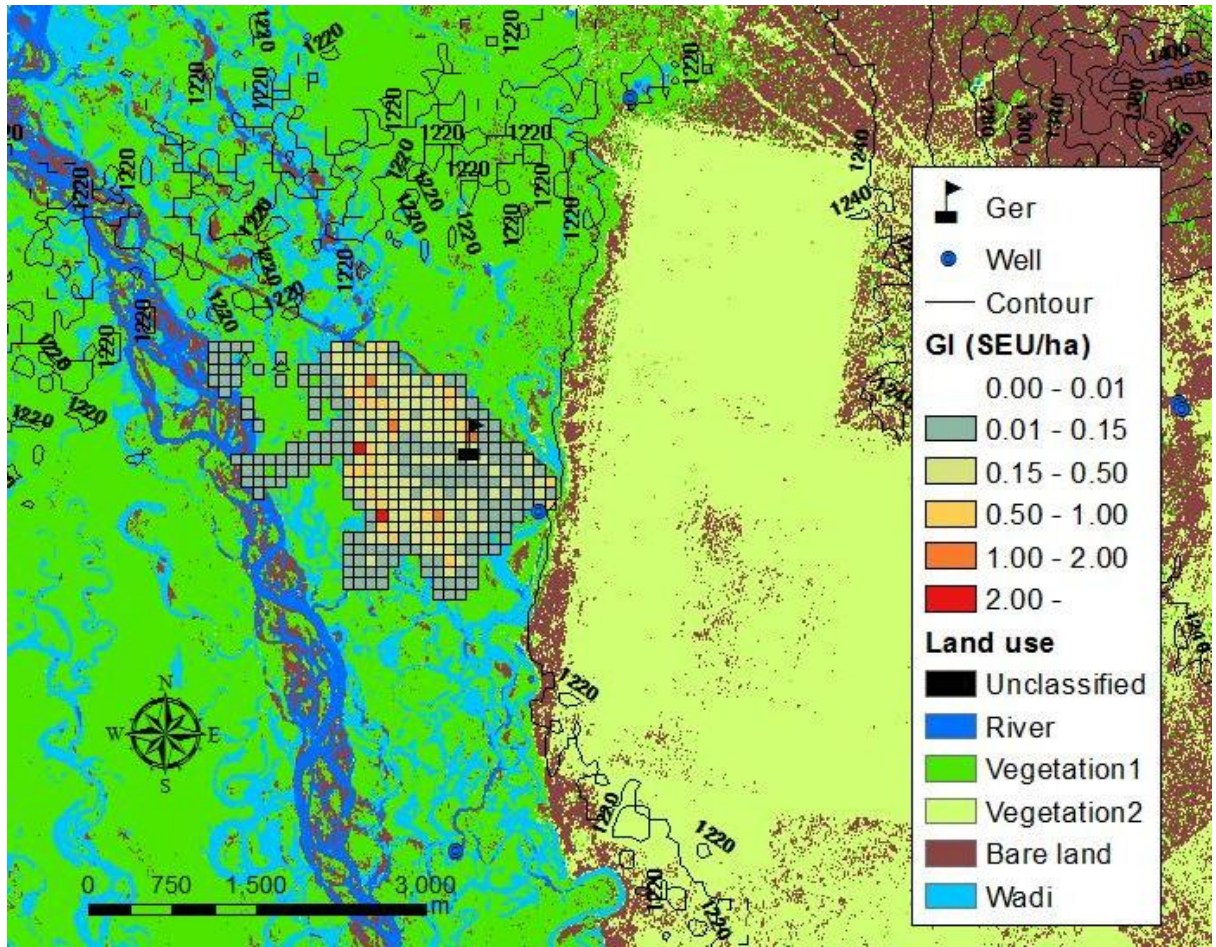


図 10 夏季ゲルの山羊の放牧圧分布図と土地利用区分図

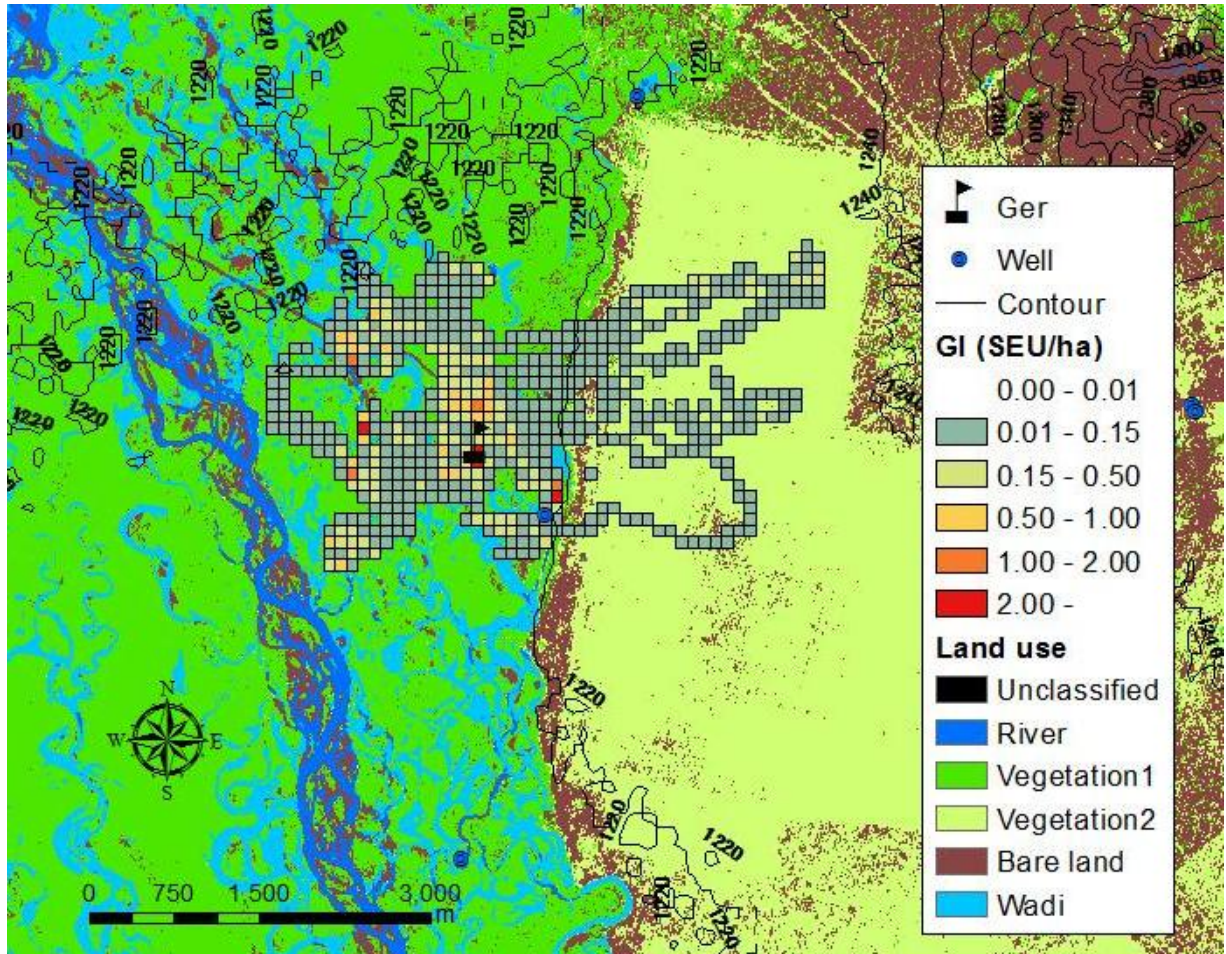


図 11 夏季ゲルの牛の放牧圧分布図と土地利用区分図

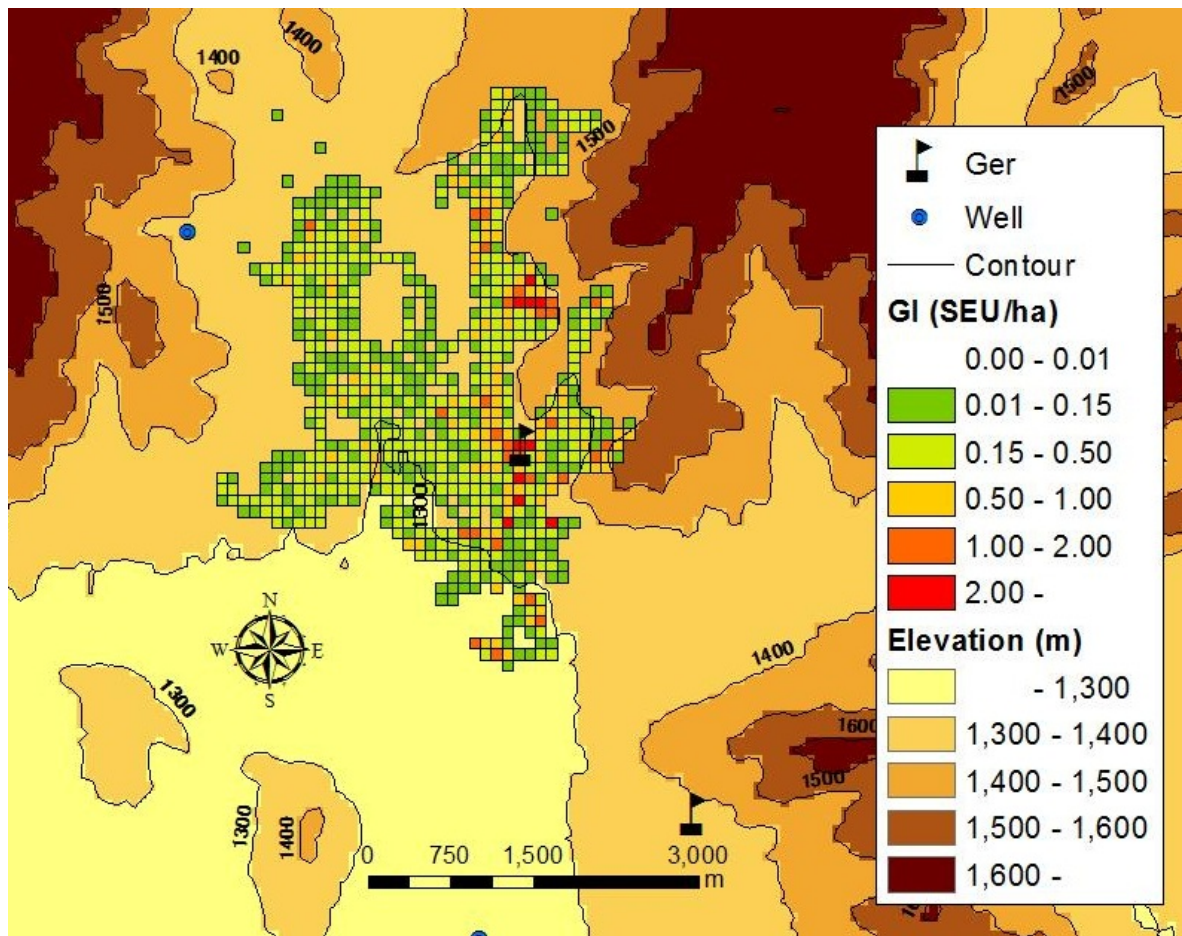


図 12 冬季ゲル 1 の放牧庄分布図と地形図

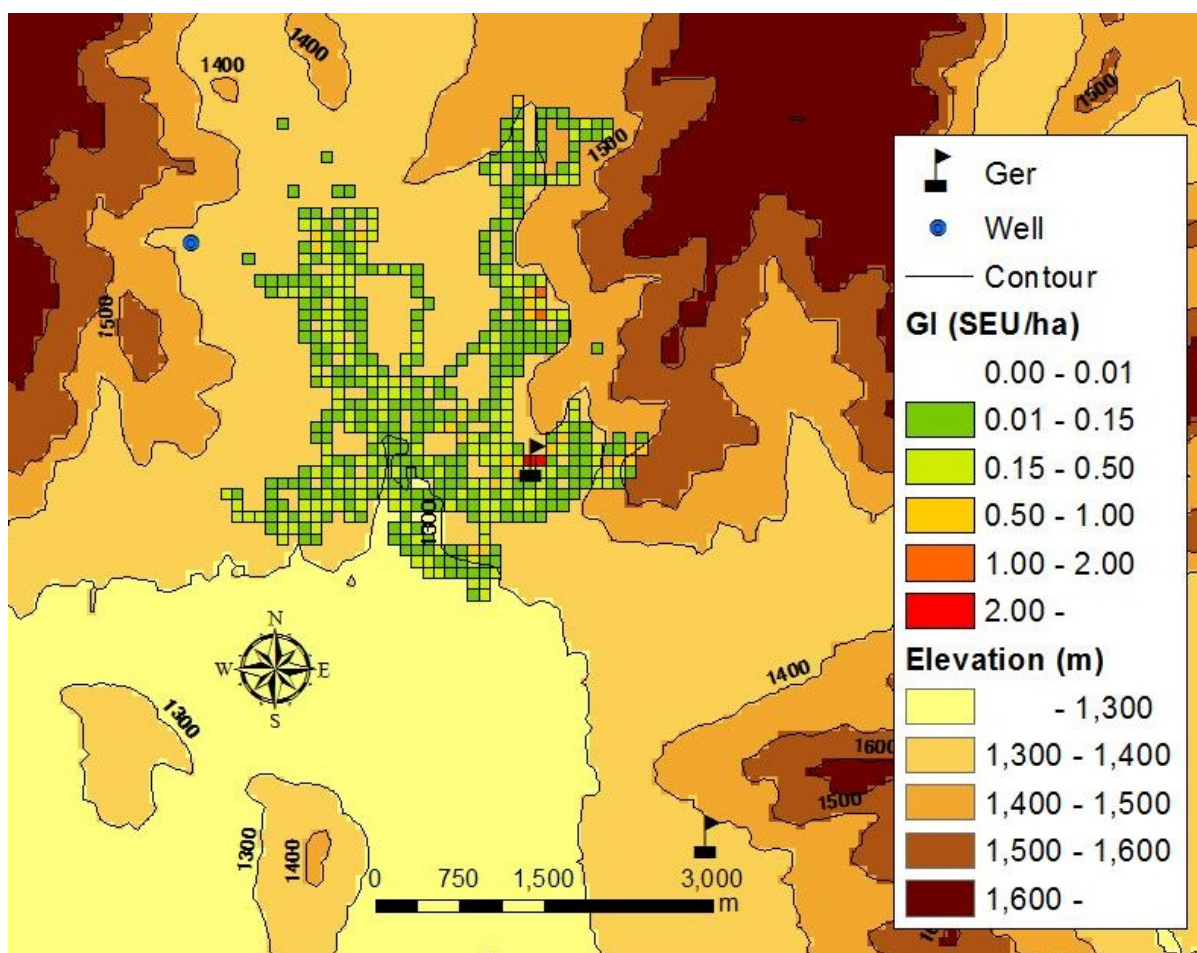


図 13 冬季ゲル 1 の羊の放牧圧分布図と地形図

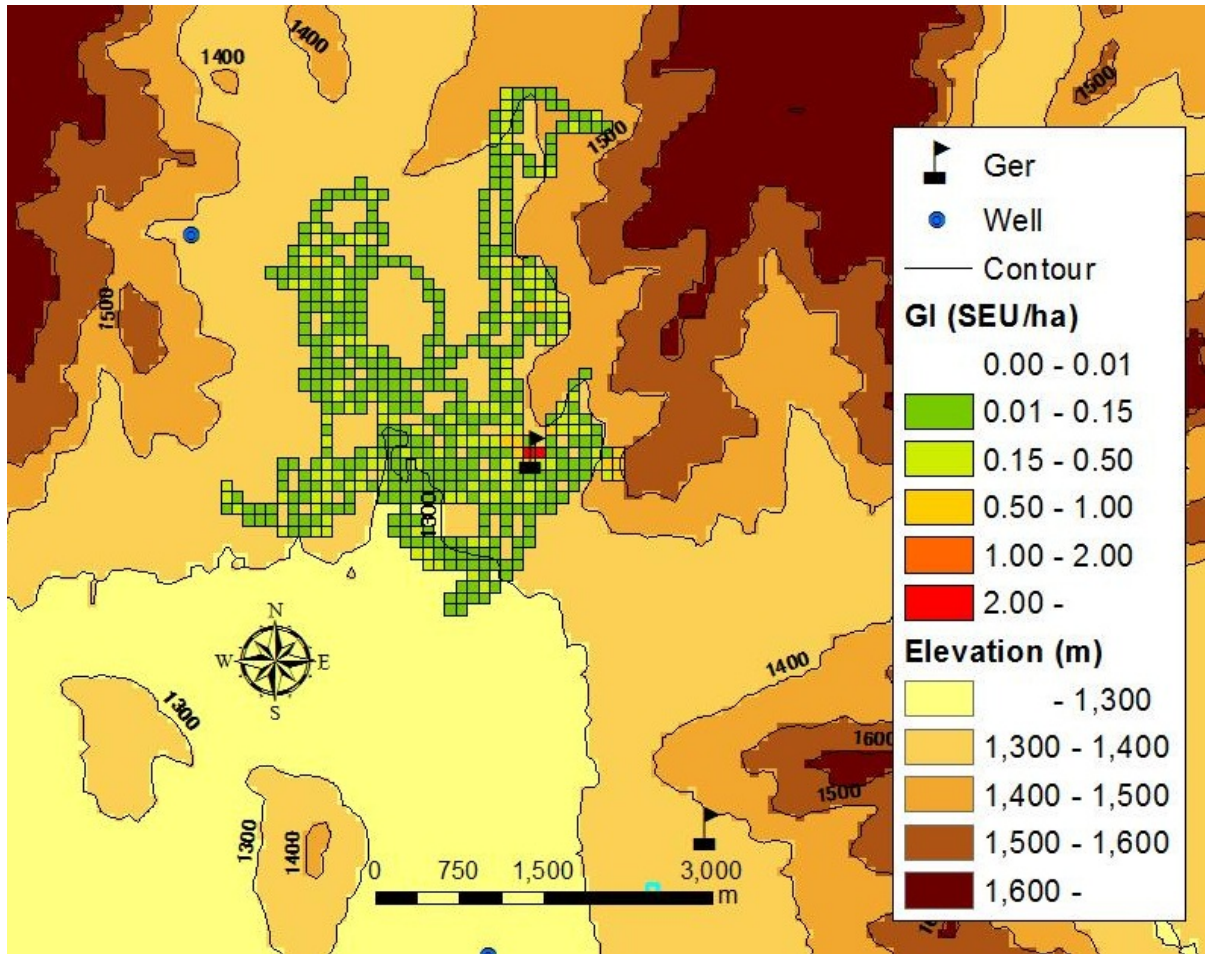


図 14 冬季ゲル 1 の山羊の放牧圧分布図と地形図

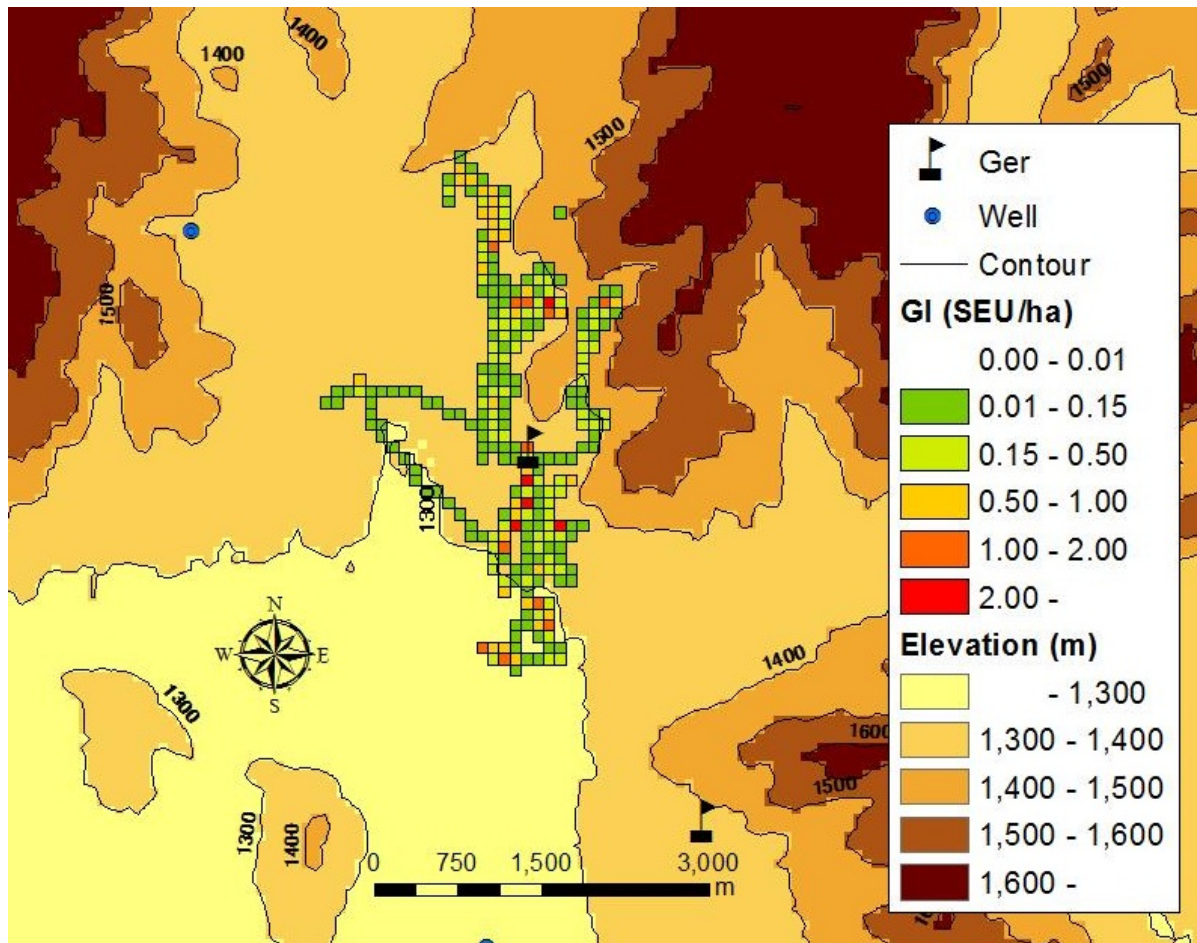


図 15 冬季ゲル1の牛の放牧庄分布図と地形図

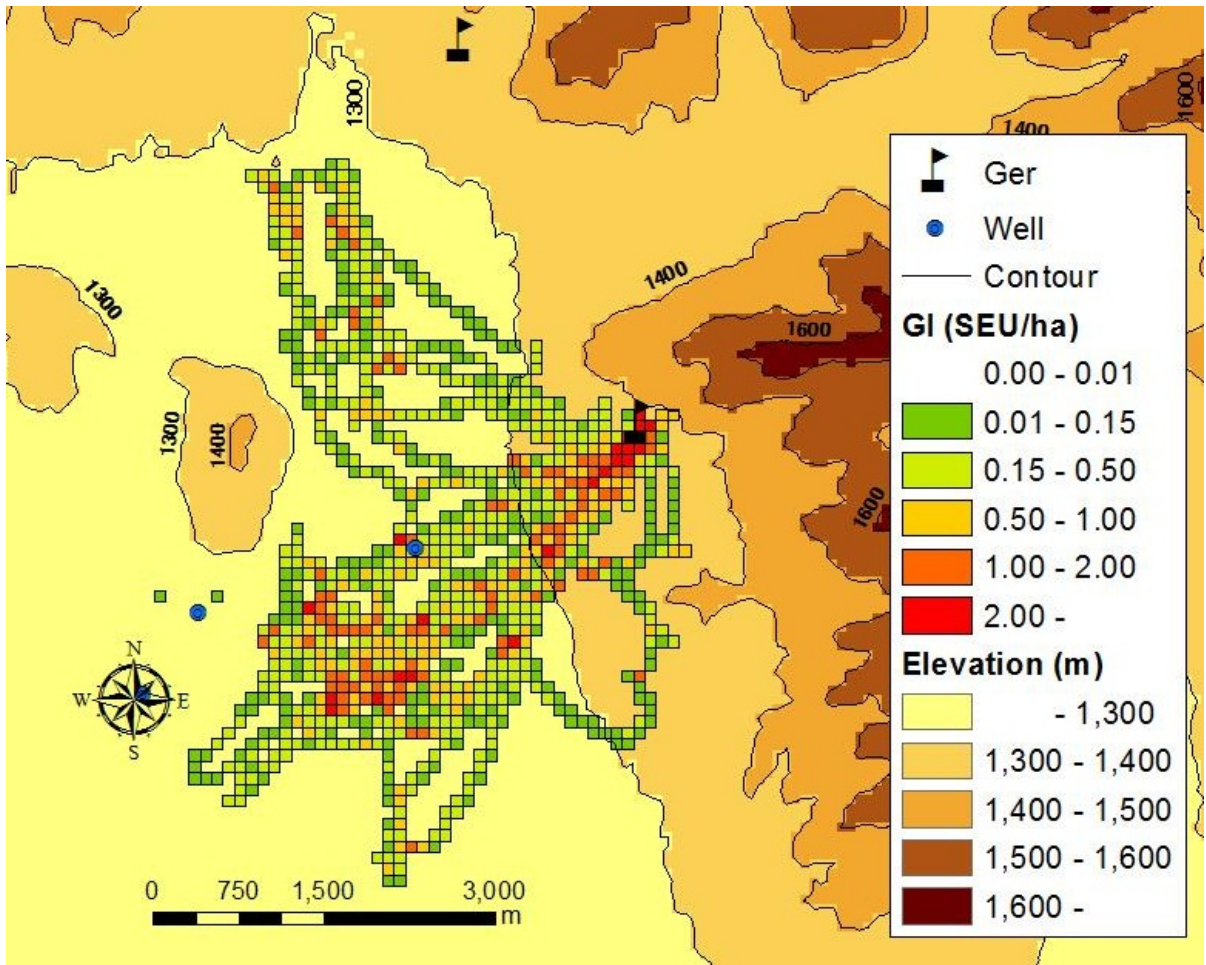


図 16 冬季ゲル 2 の放牧庄分布図と地形図

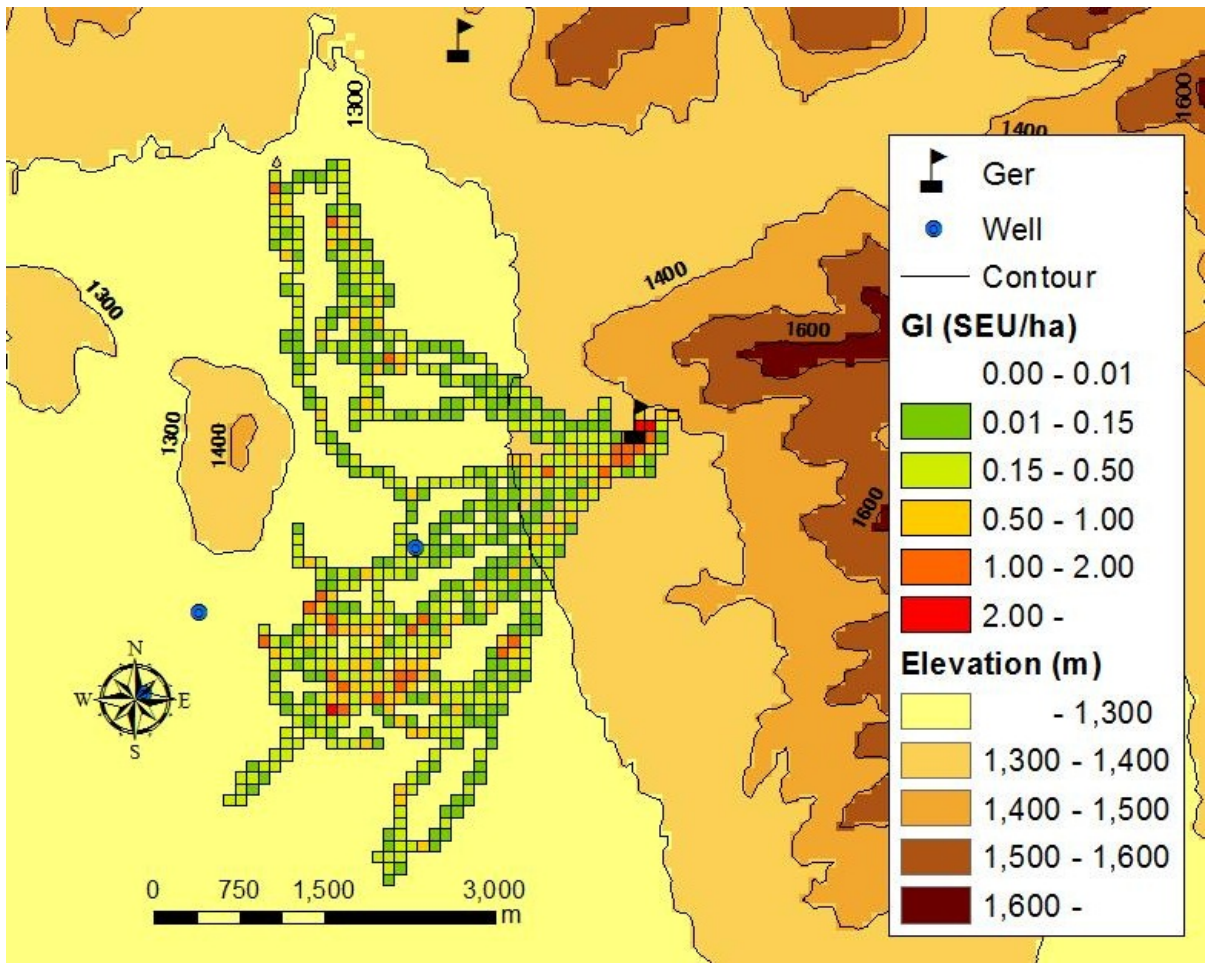


図 17 冬季ゲル 2 の羊の放牧庄分布図と地形図

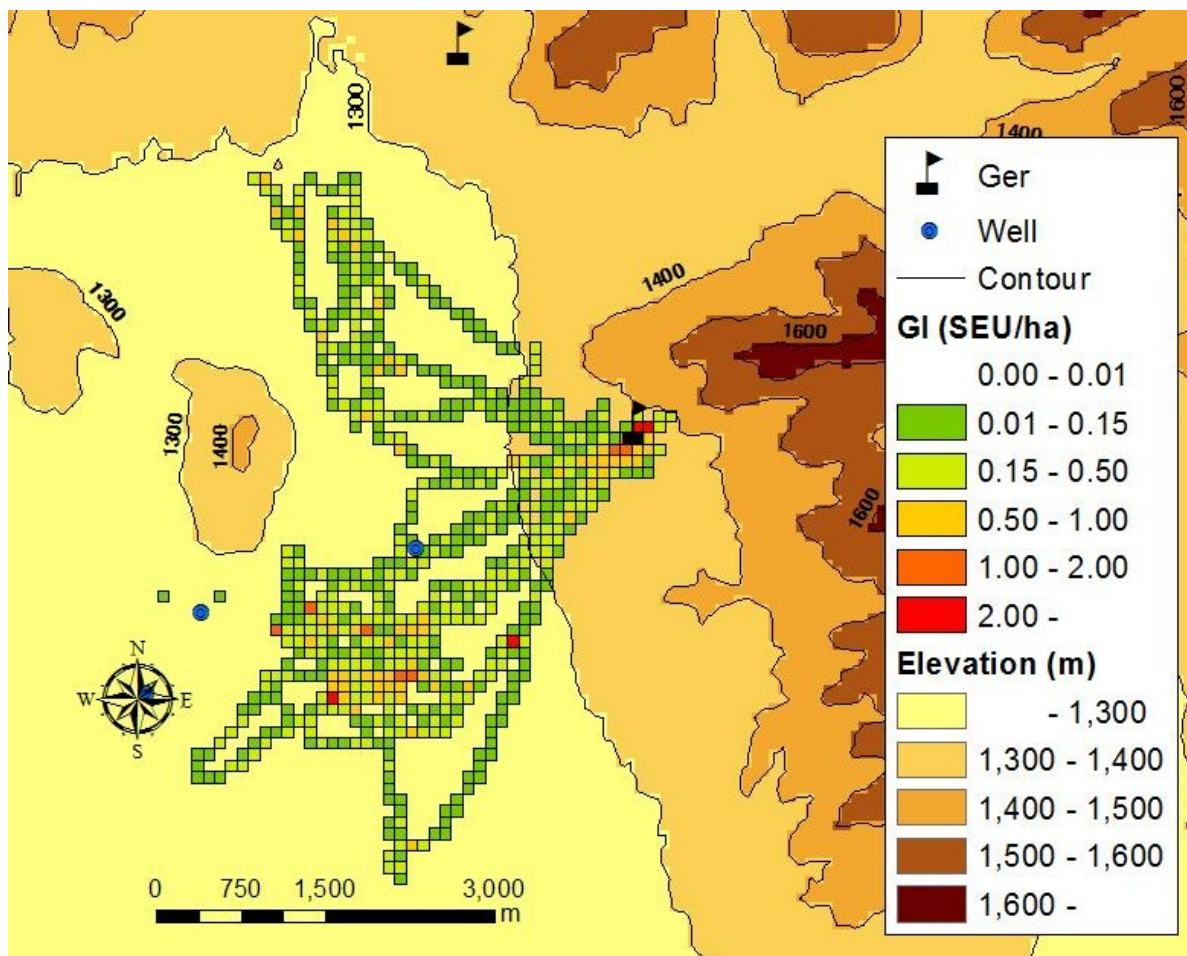


図 18 冬季ゲル 2 の山羊の放牧圧分布図と地形図

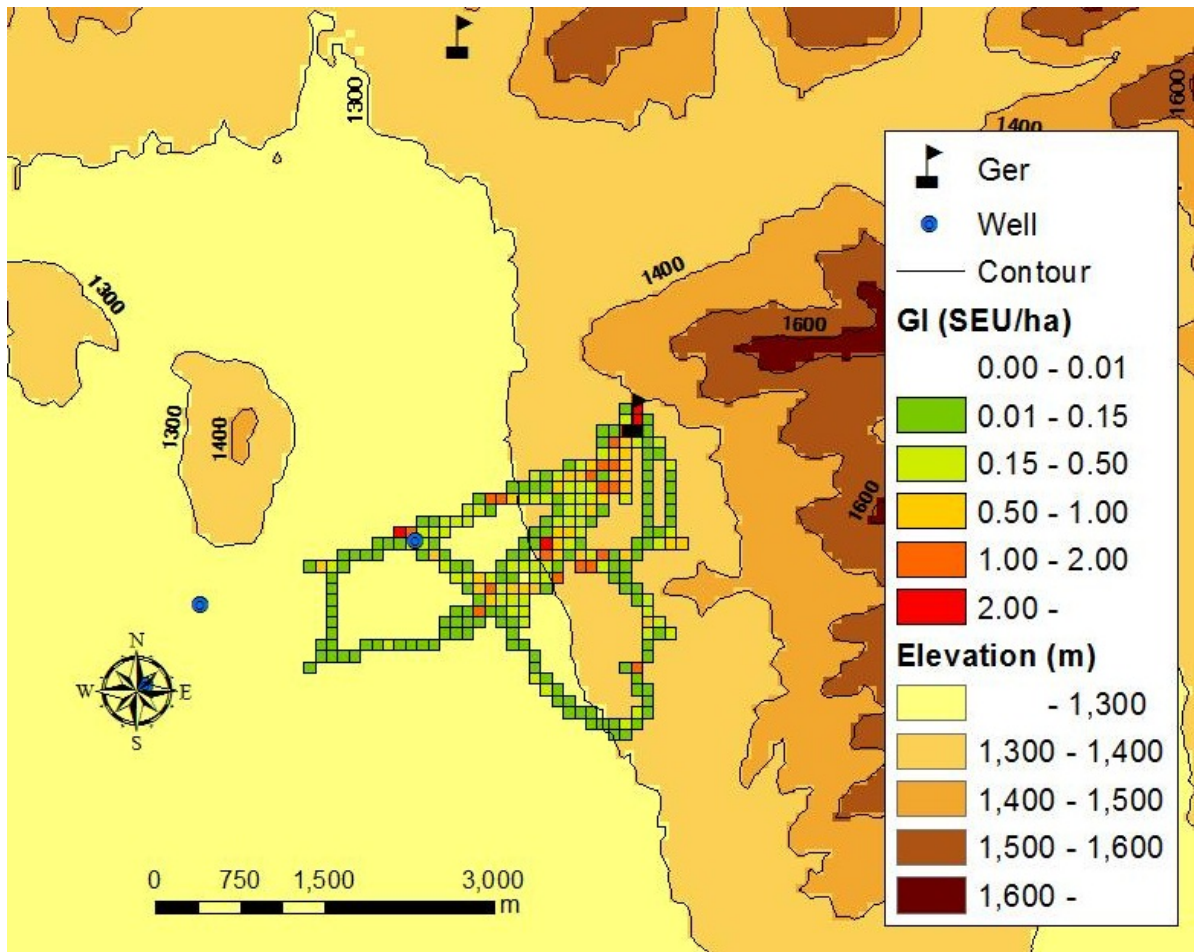


図 19 冬季ゲル 2 の牛の放牧庄分布図と地形図

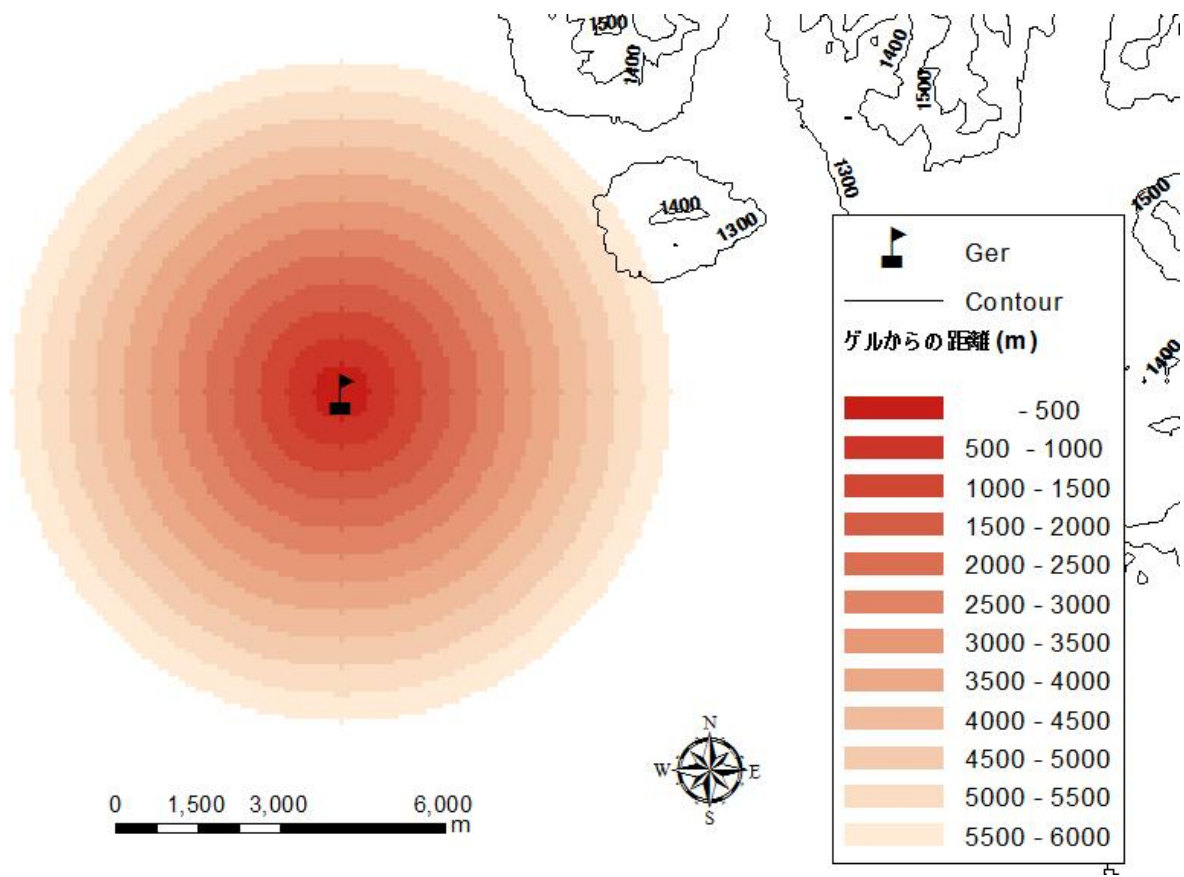


図 20 夏季ゲルにおけるゲルからの距離の分布図

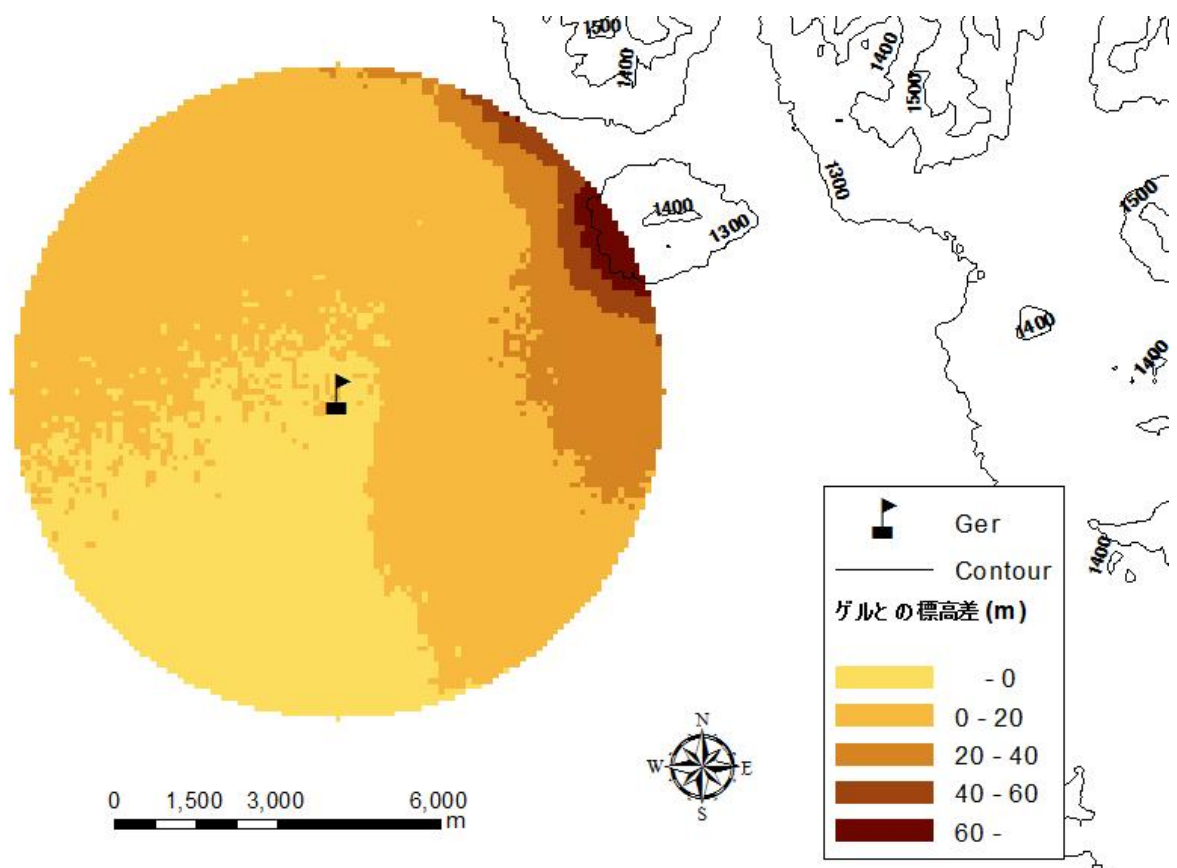


図 21 夏季ゲルにおけるゲルとの標高差の分布図

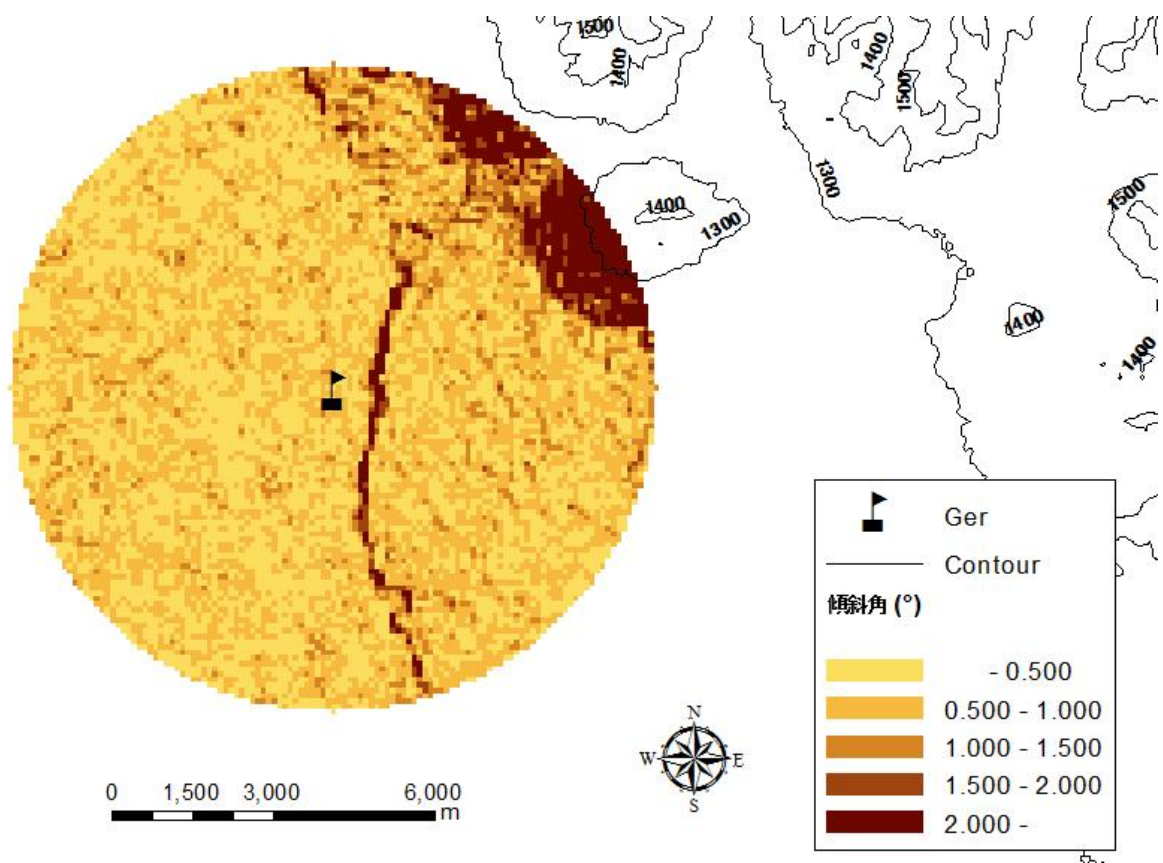


図 22 夏季ゲルにおける傾斜角の分布図

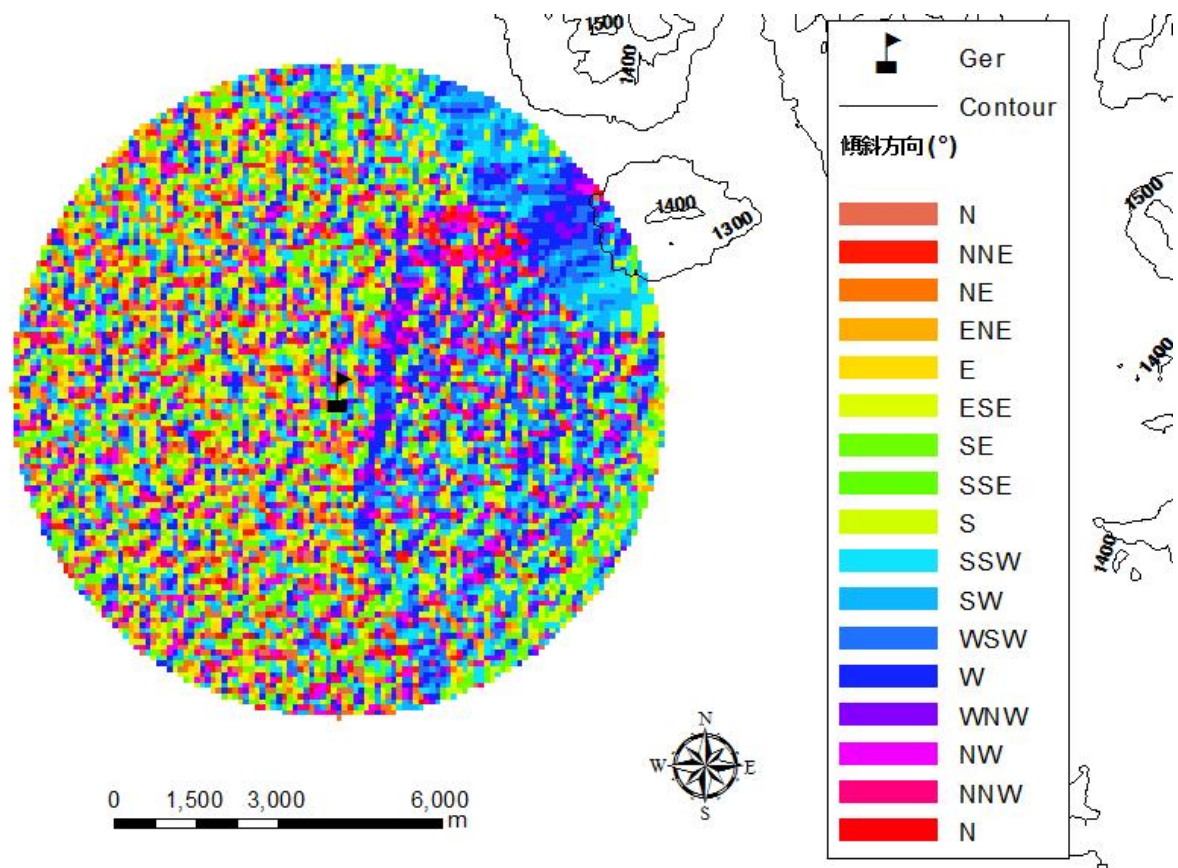


図 23 夏季ゲルにおける傾斜方向の分布図

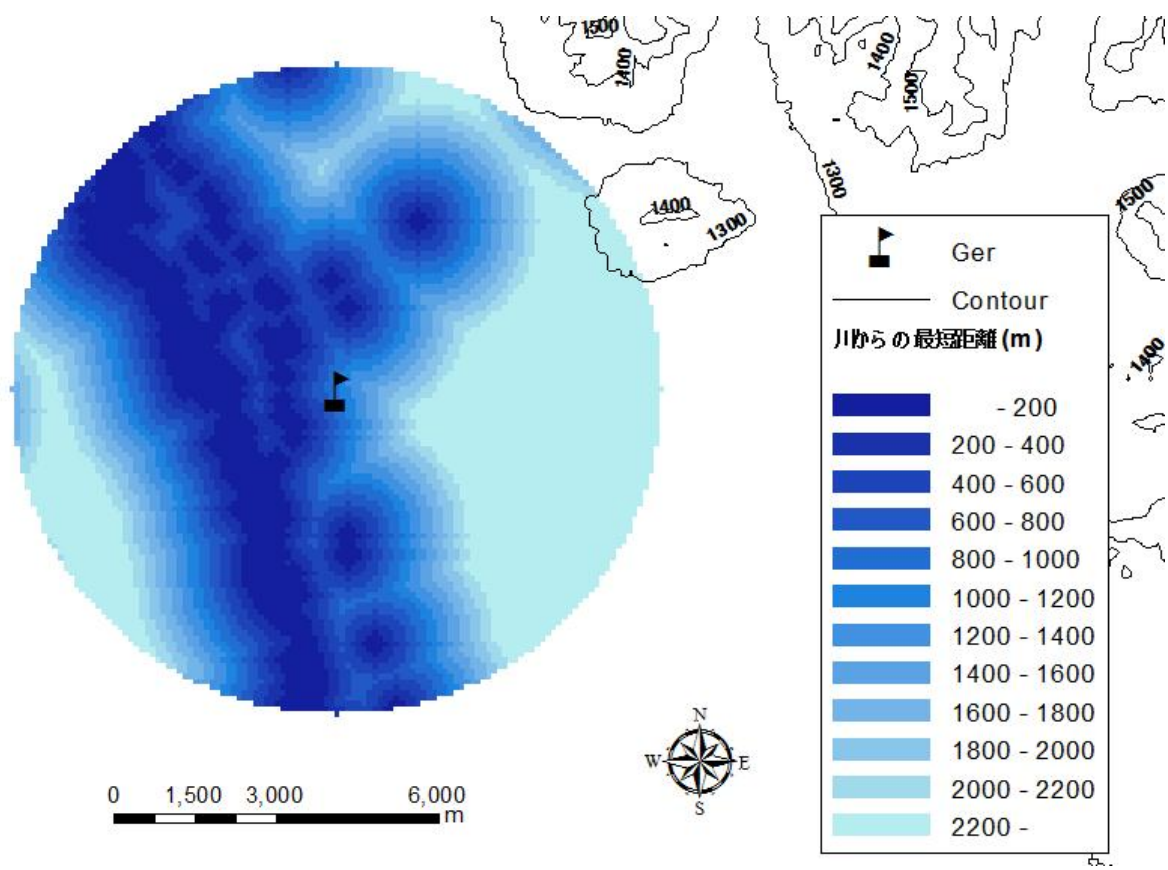


図 24 夏季ゲルにおける川からの最短距離の分布図

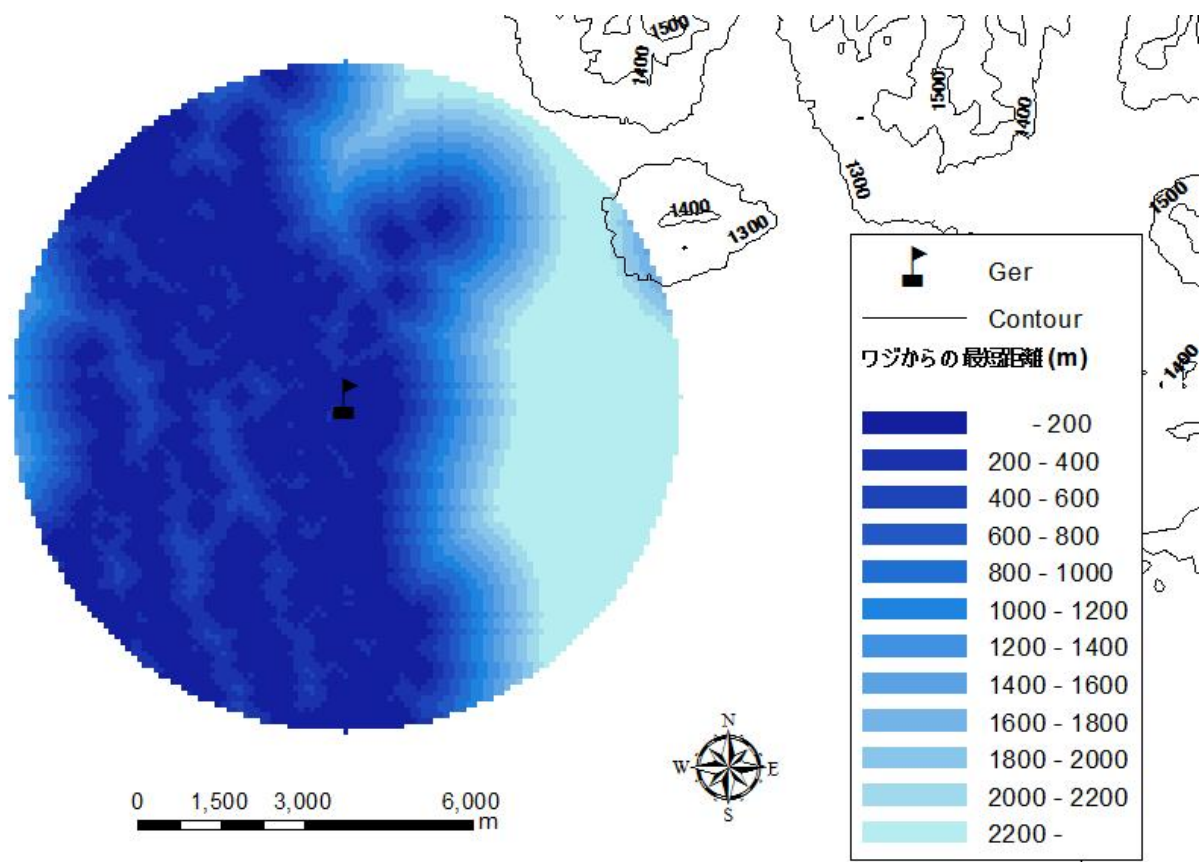


図 25 夏季ゲルにおけるワジからの最短距離の分布図

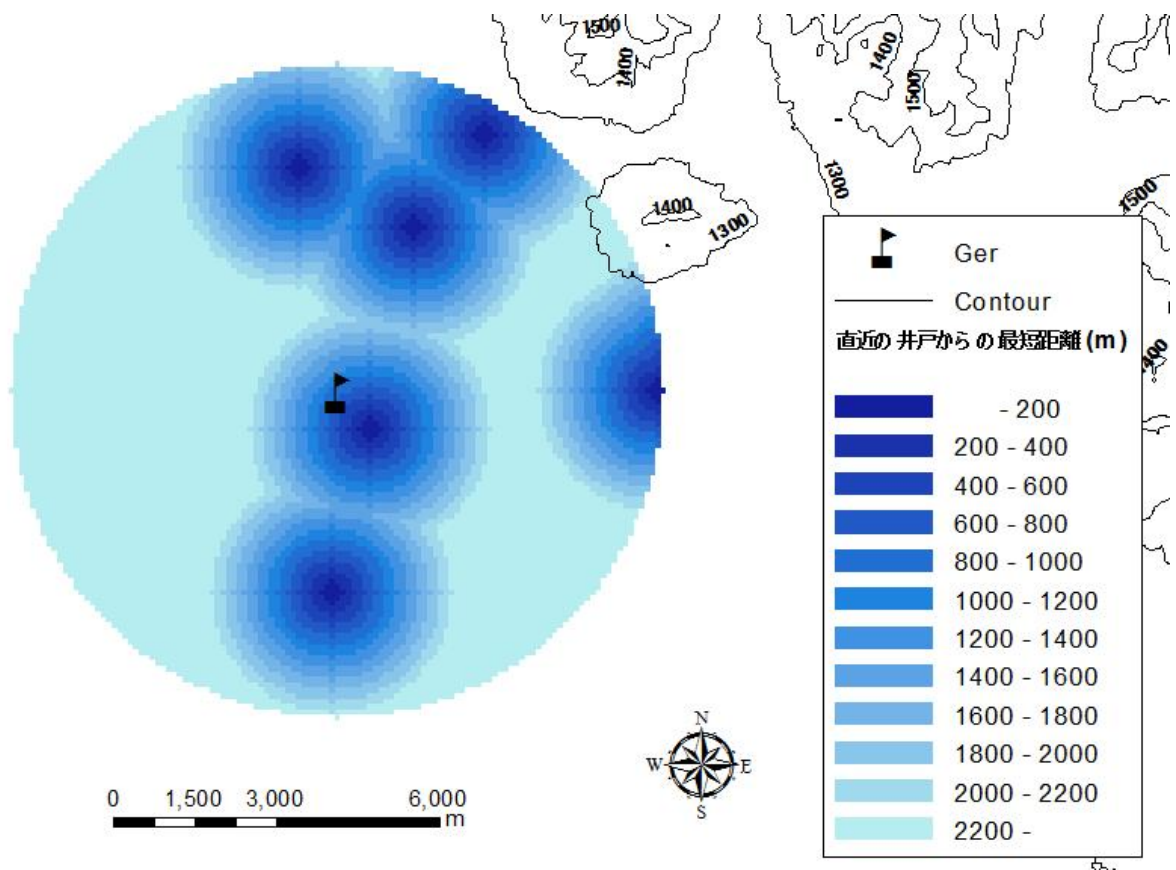


図 26 夏季ゲルにおける直近の井戸から最短距離の分布図

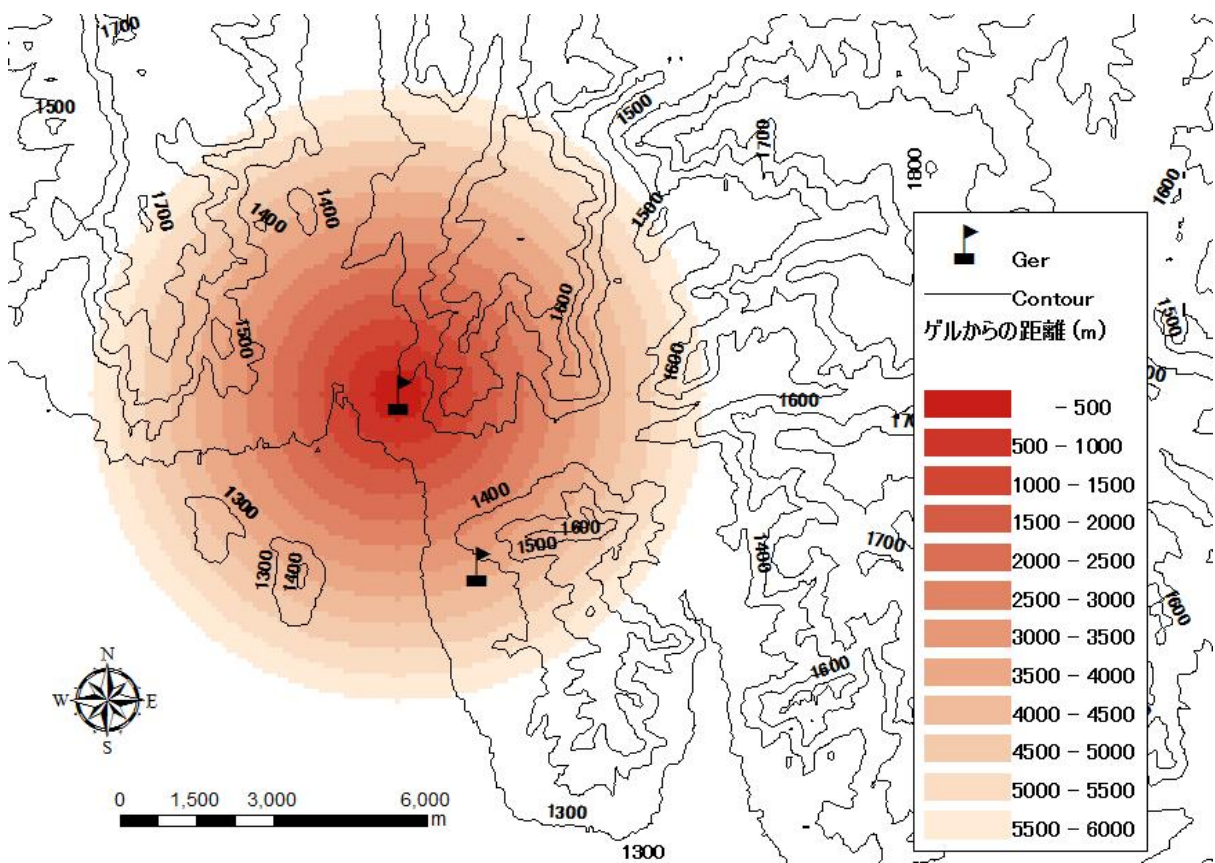


図 27 冬季ゲル 1 におけるゲルからの距離の分布図

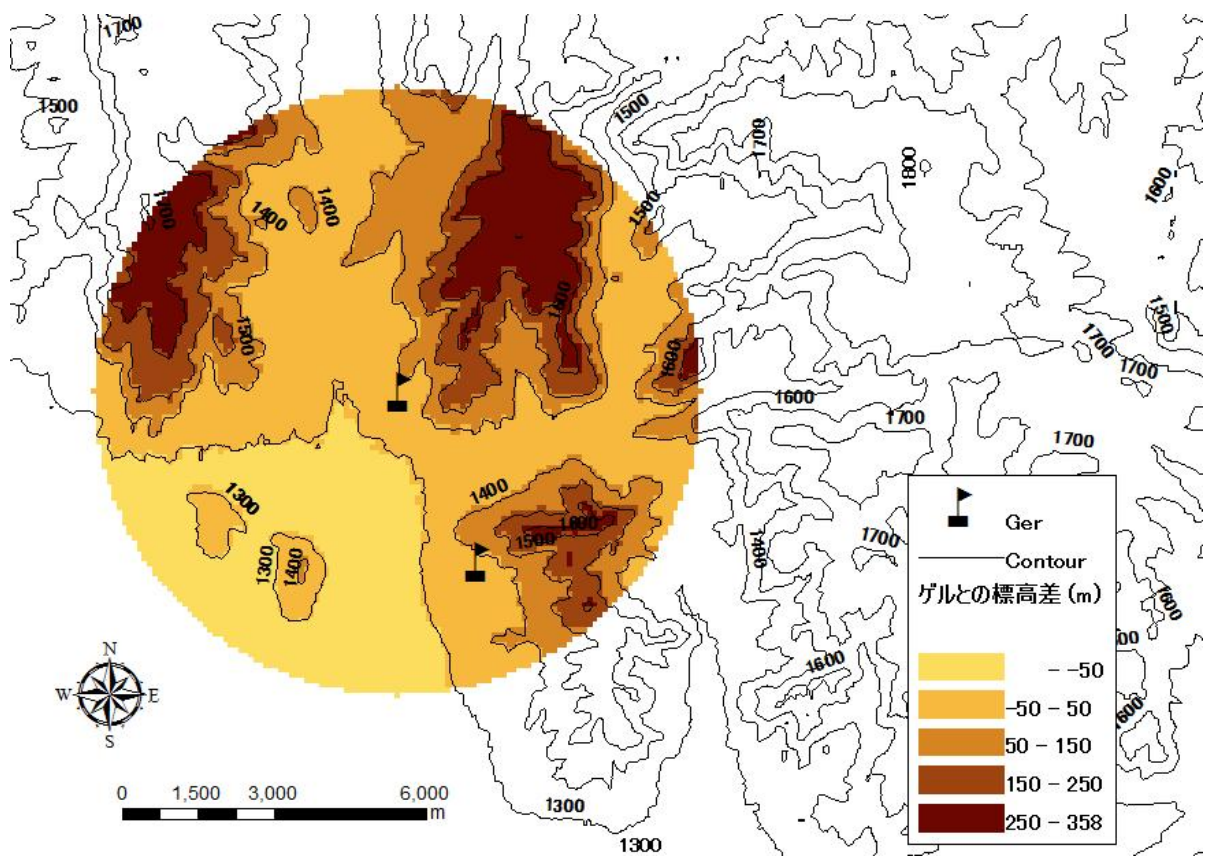


図 28 冬季ゲル 1 におけるゲルとの標高差の分布図

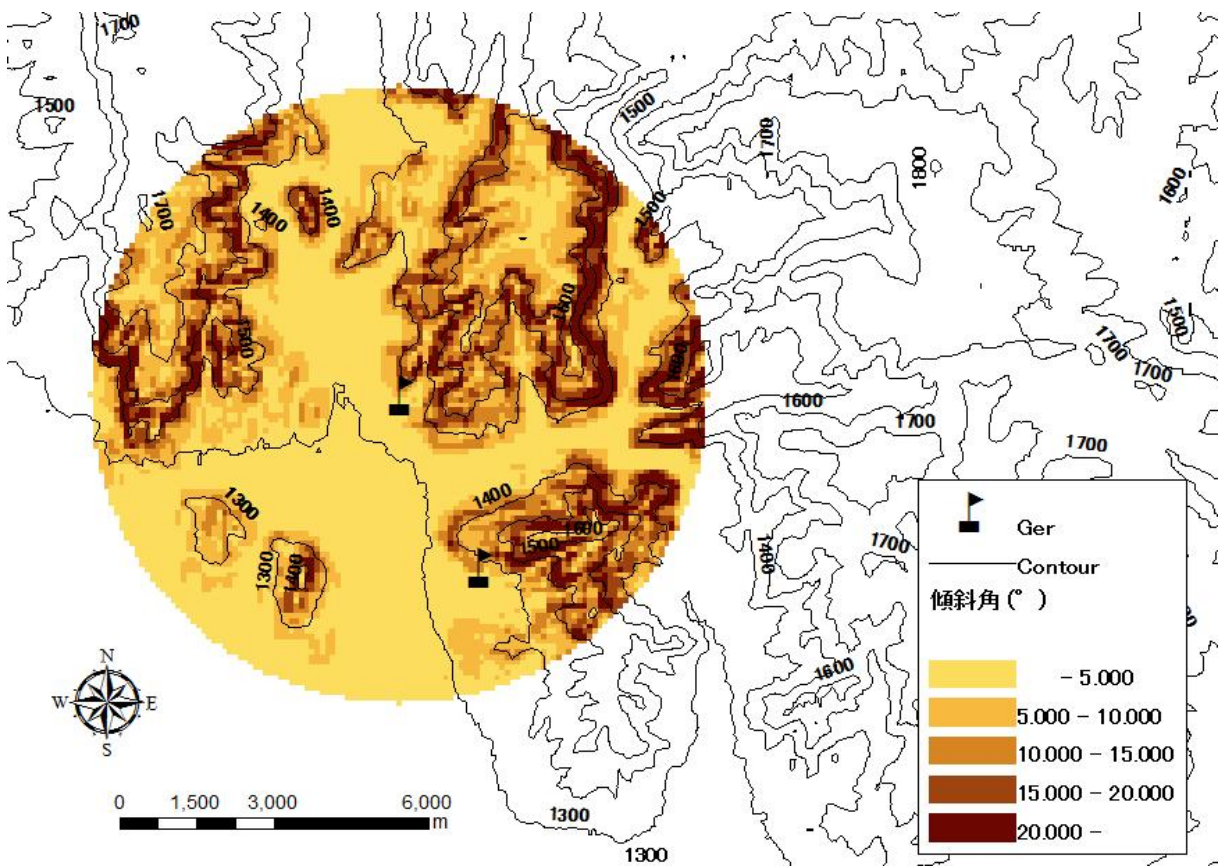


図 29 冬季ゲル 1 における傾斜角の分布図

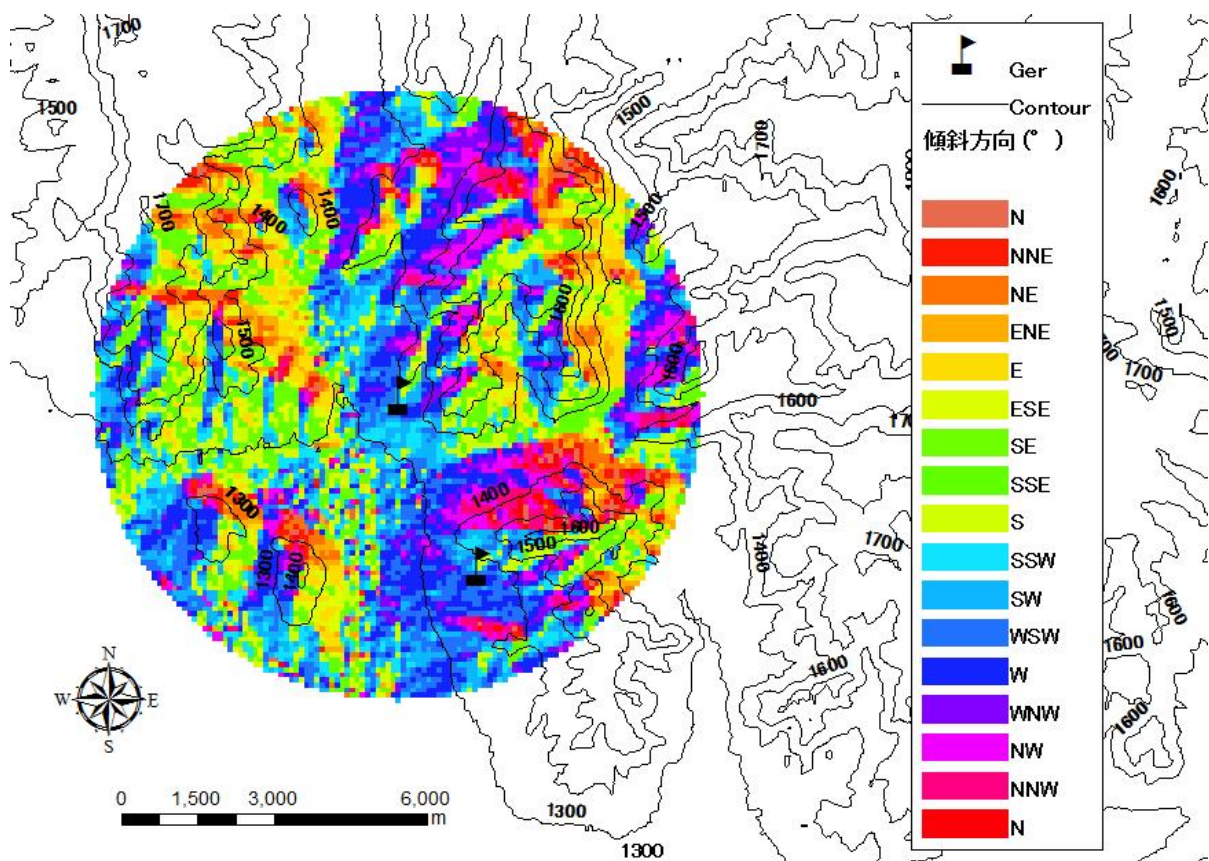


図 30 冬季ゲル 1 における傾斜方向の分布図

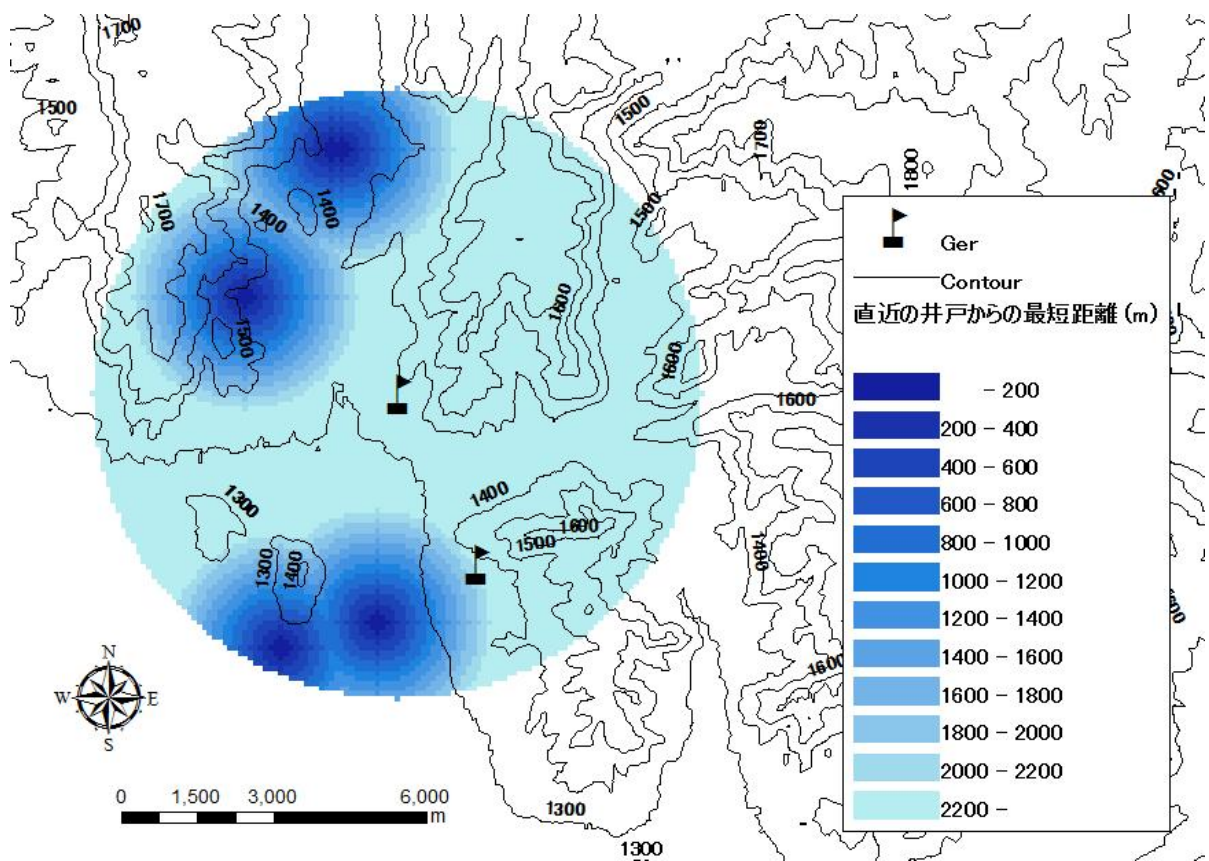


図 31 冬季ゲル 1 における直近の井戸からの最短距離の分布図

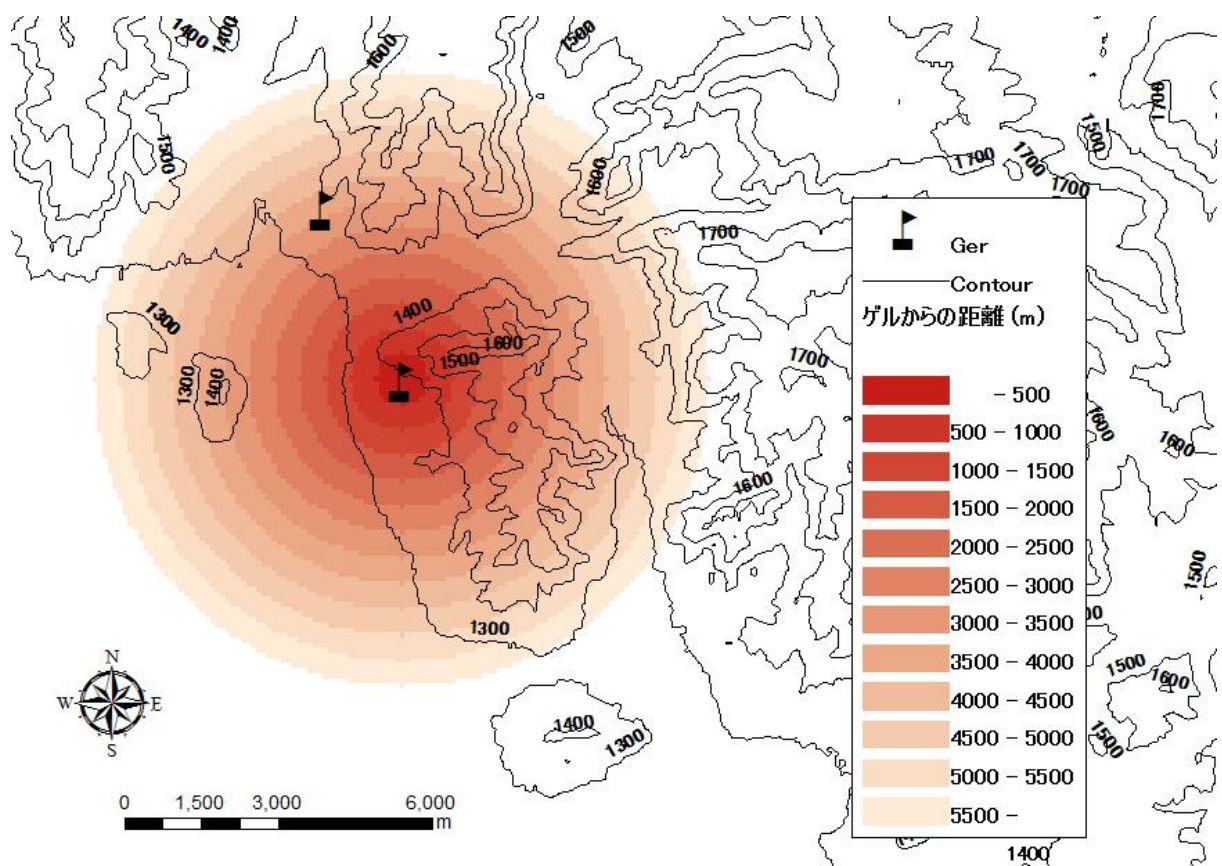


図 32 冬季ゲル 2 におけるゲルからの距離の分布図

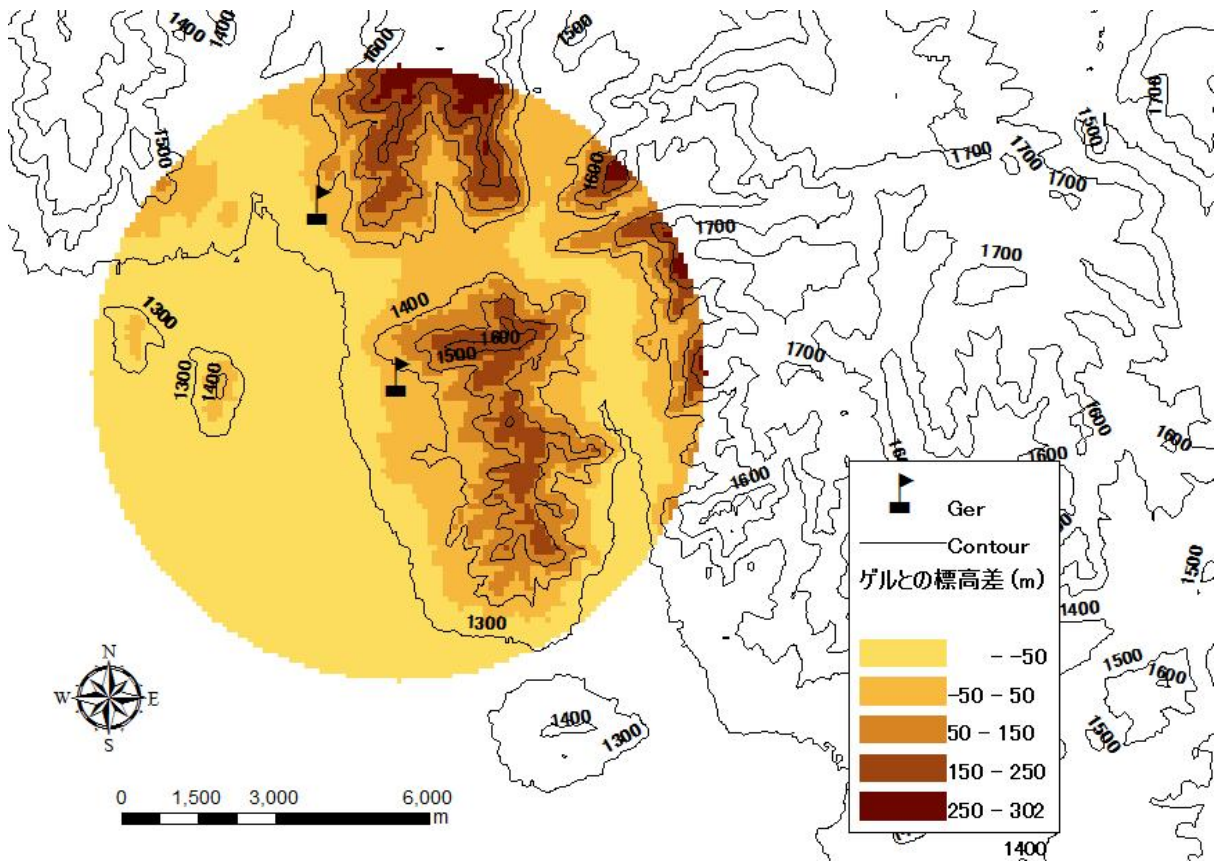


図 33 冬季ゲル 2 におけるゲルとの標高差の分布図

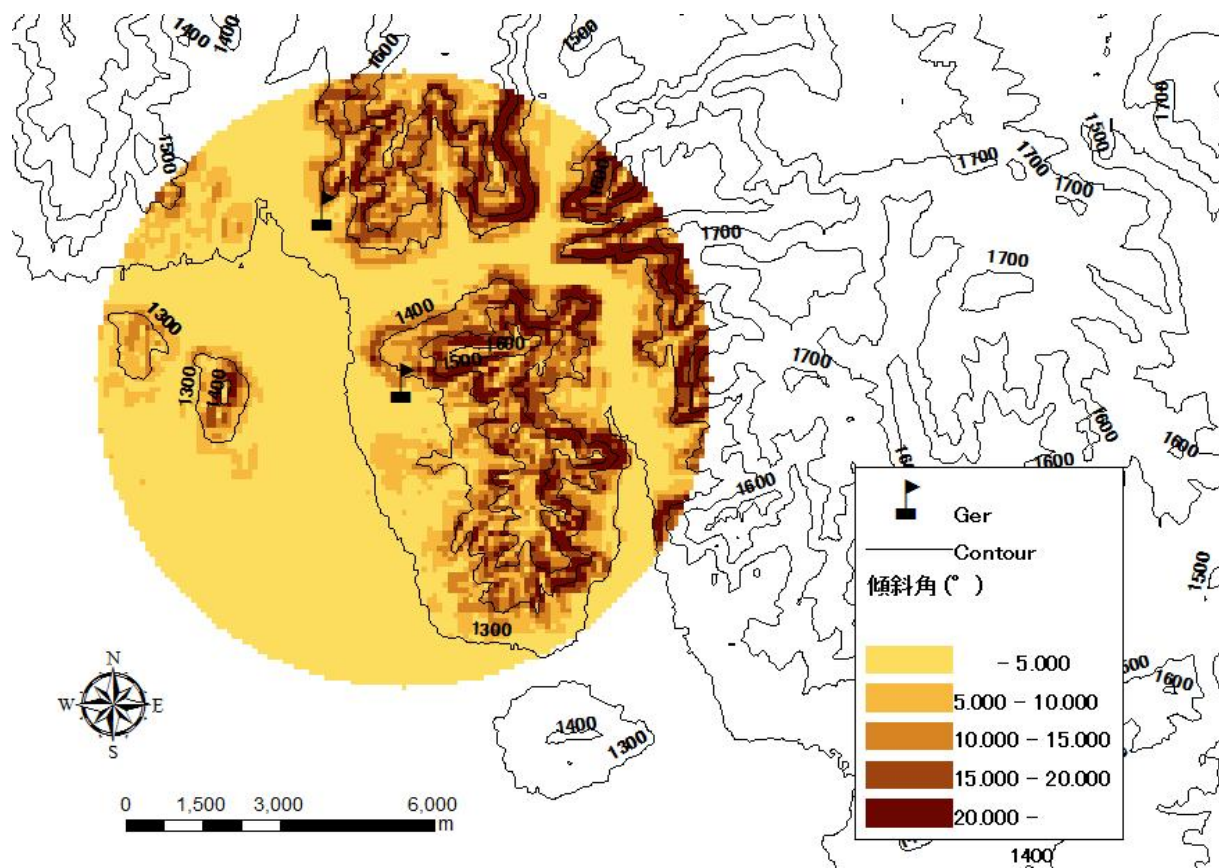


図 34 冬季ゲル 2 における傾斜角の分布図

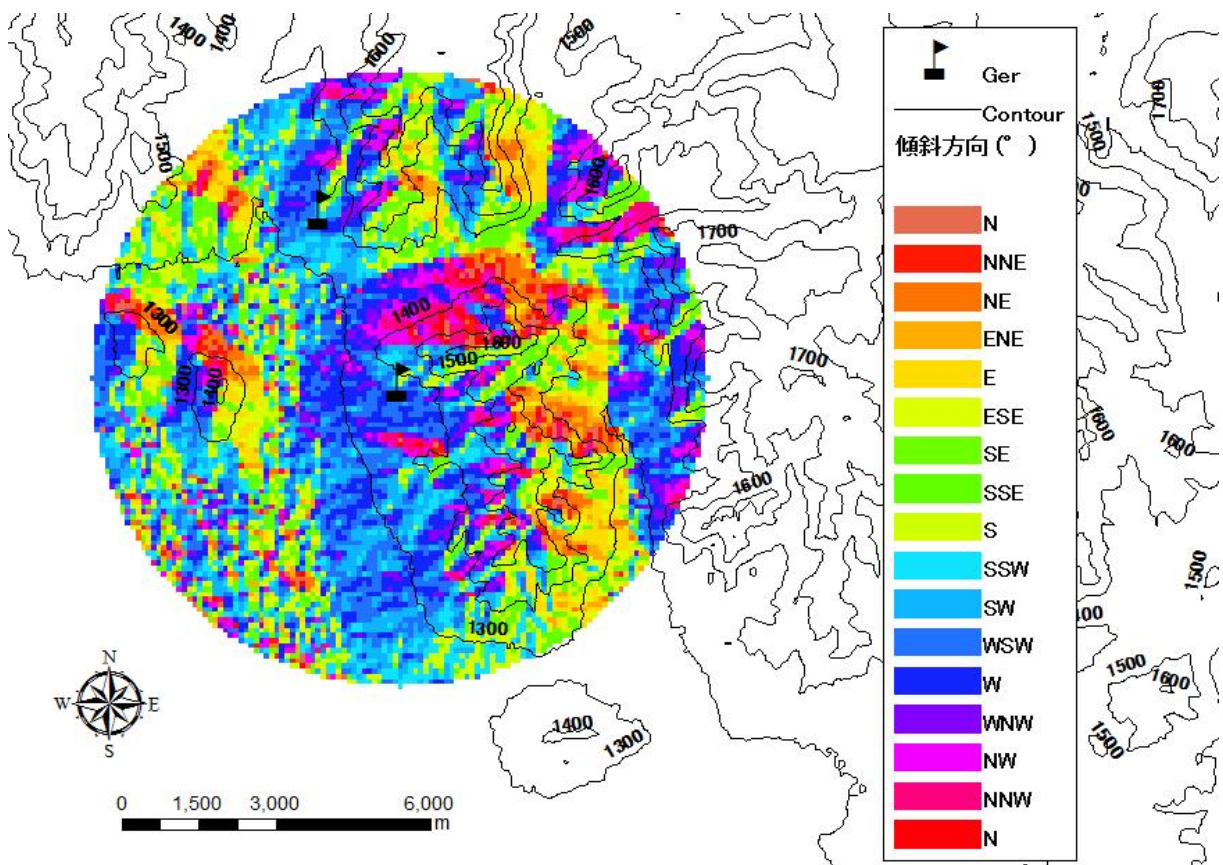


図 35 冬季ゲル 2 における傾斜方向の分布図

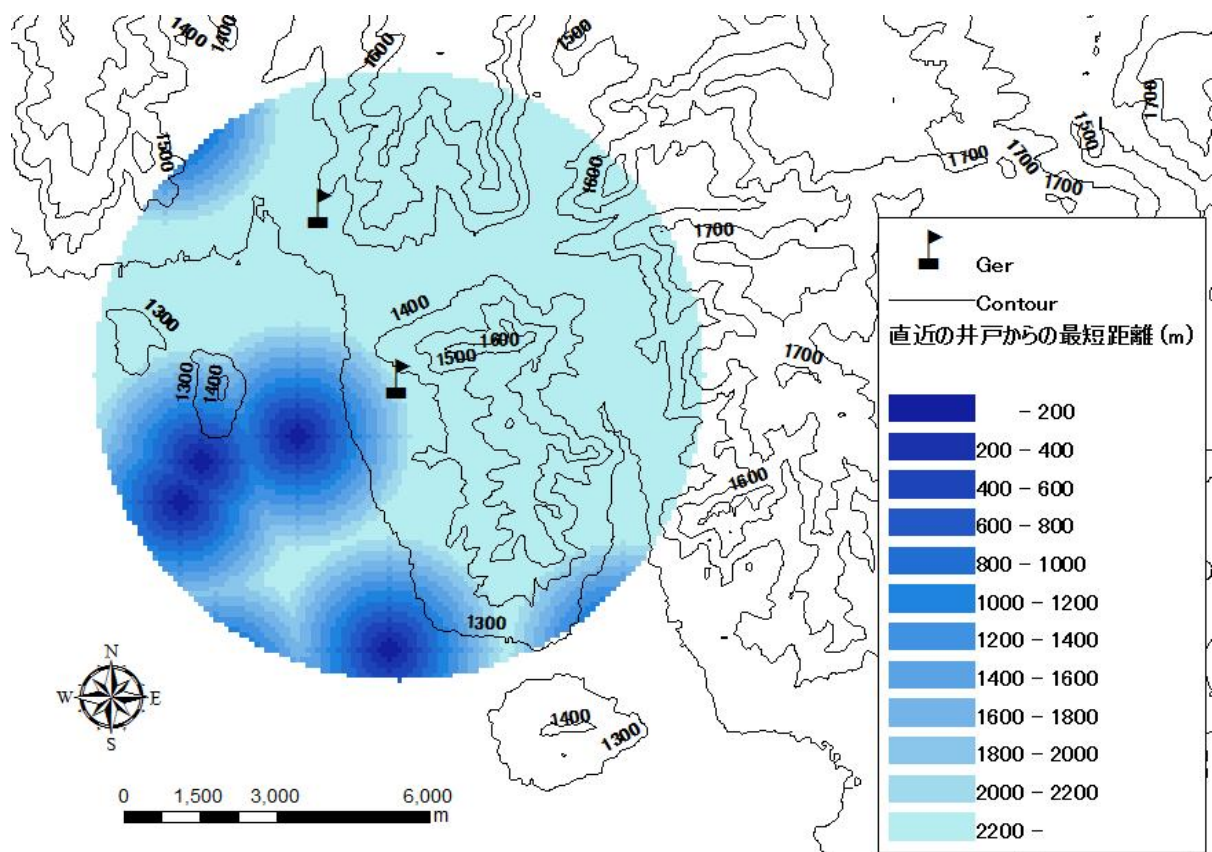


図 36 冬季ゲル 2 における直近の井戸からの最短距離の分布図

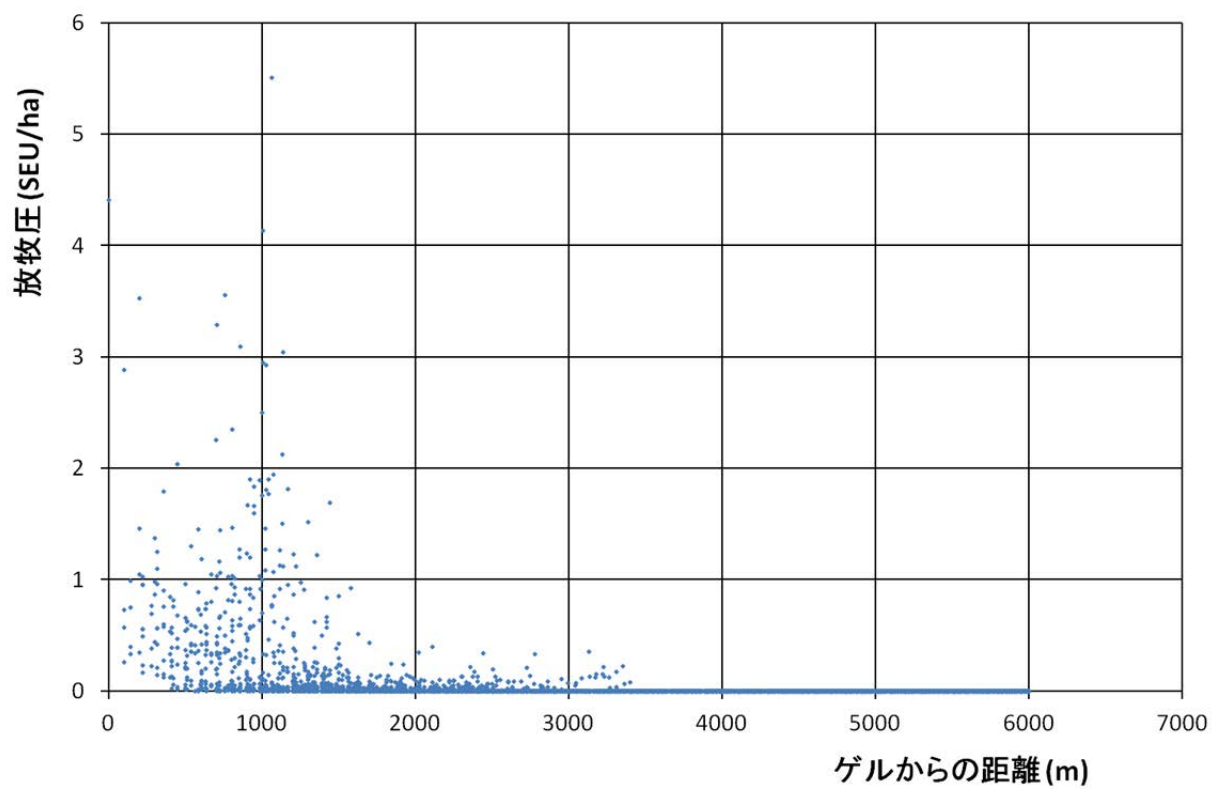


図 37 夏季ゲルにおける放牧圧とゲルからの距離の散布図

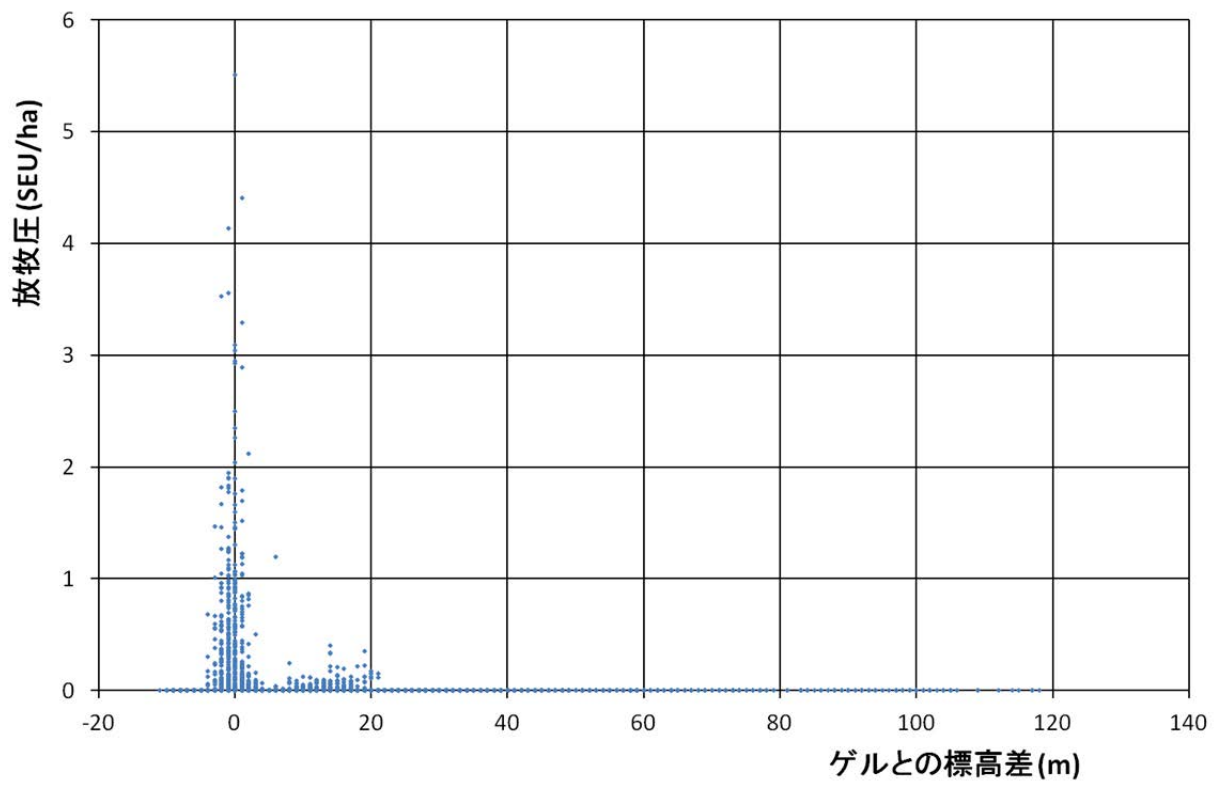


図 38 夏季ゲルにおける放牧圧とゲルとの標高差の散布図

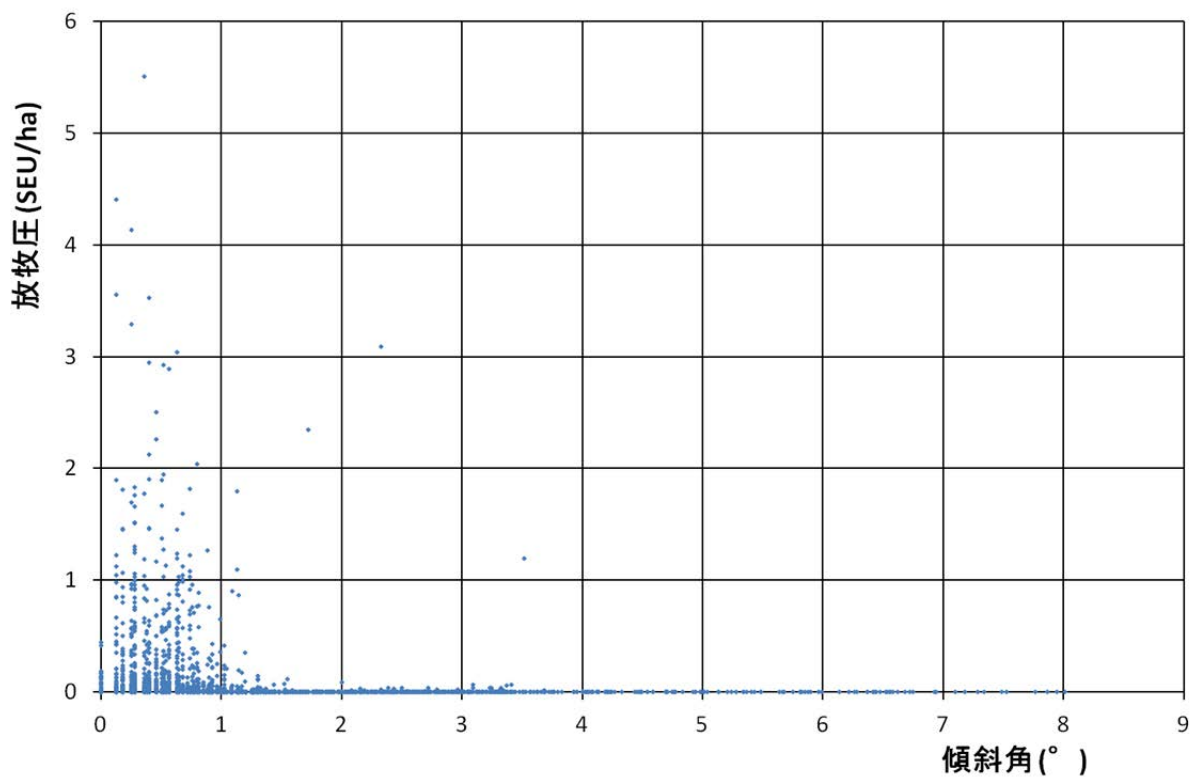


図 39 夏季ゲルにおける放牧圧と傾斜角の散布図

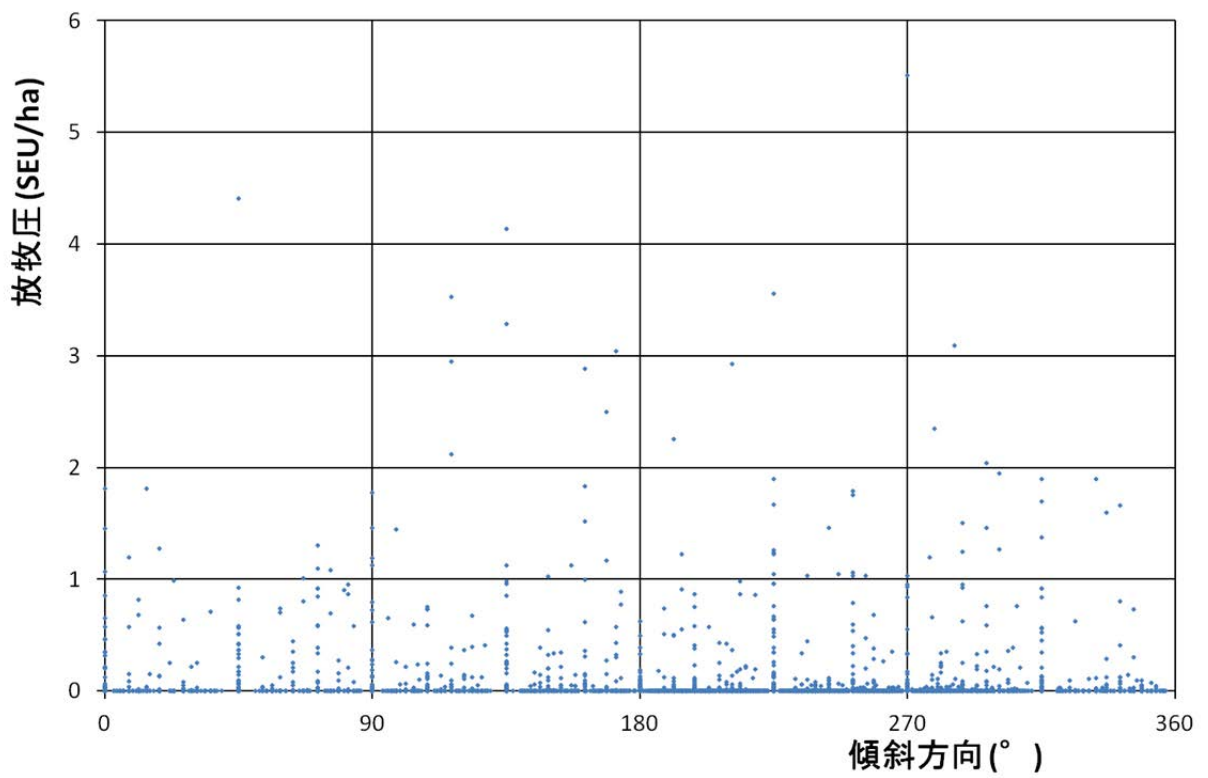


図 40 夏季ゲルにおける放牧圧と傾斜方向の散布図

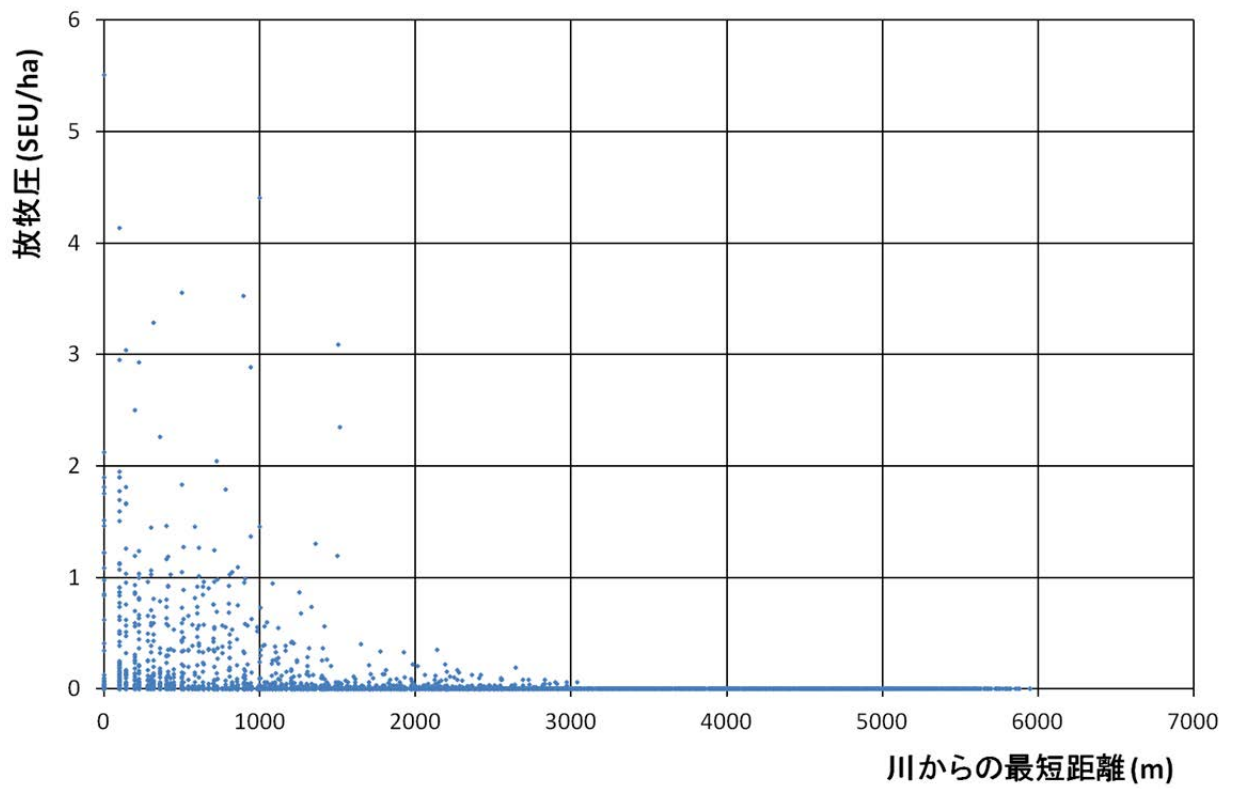


図 41 夏季ゲルにおける放牧圧と川からの最短距離の散布図

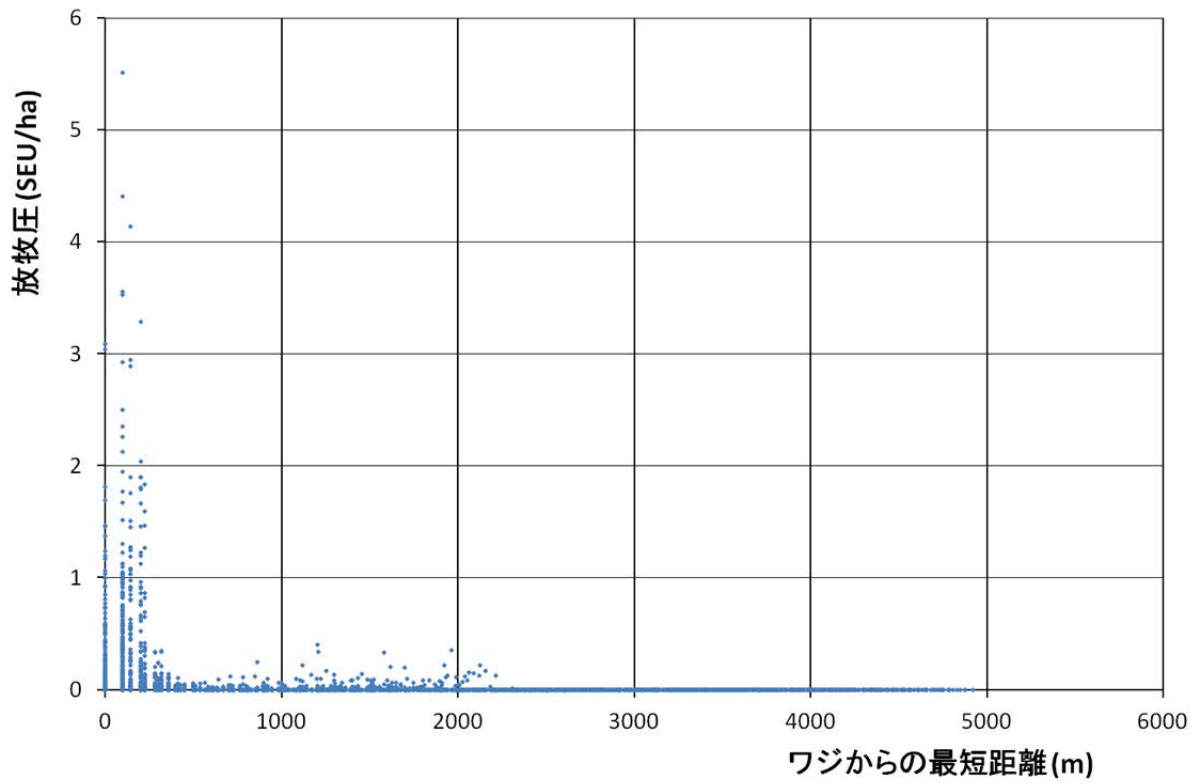


図 42 夏季ゲルにおける放牧圧とワジからの最短距離の散布図

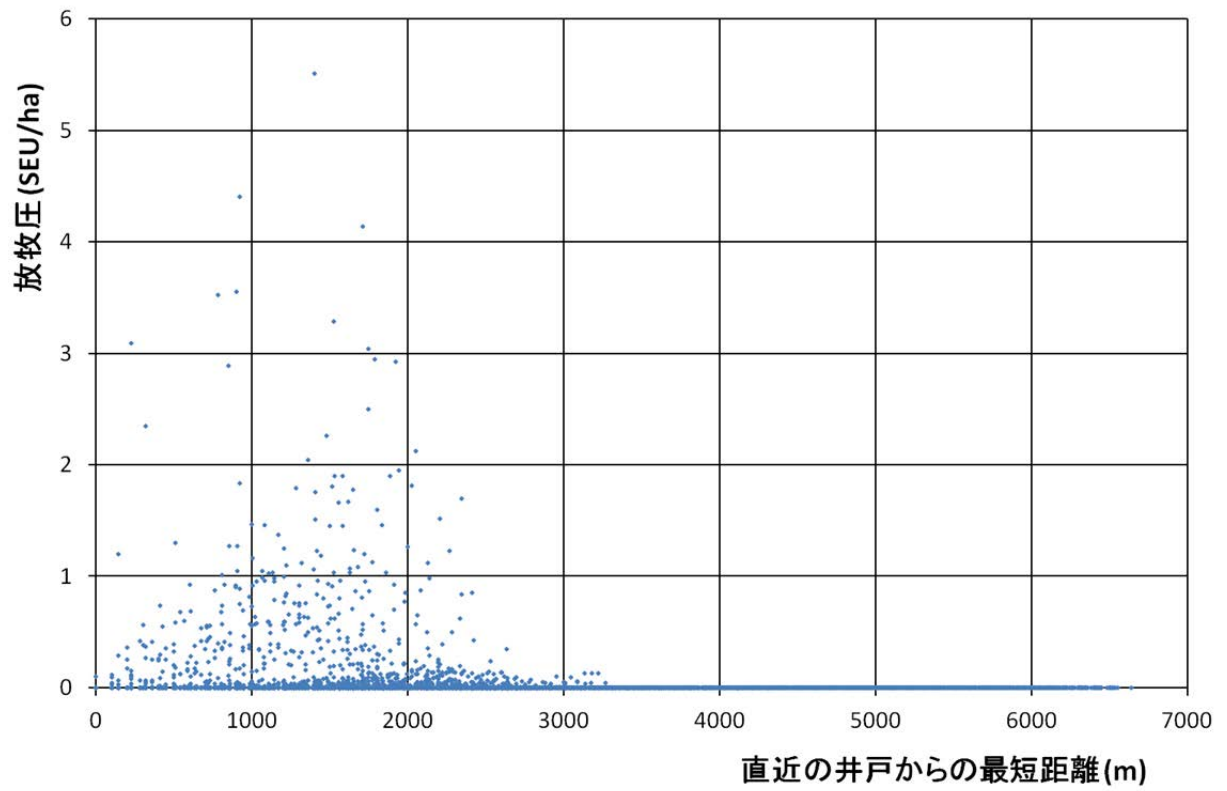


図 43 夏季ゲルにおける放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

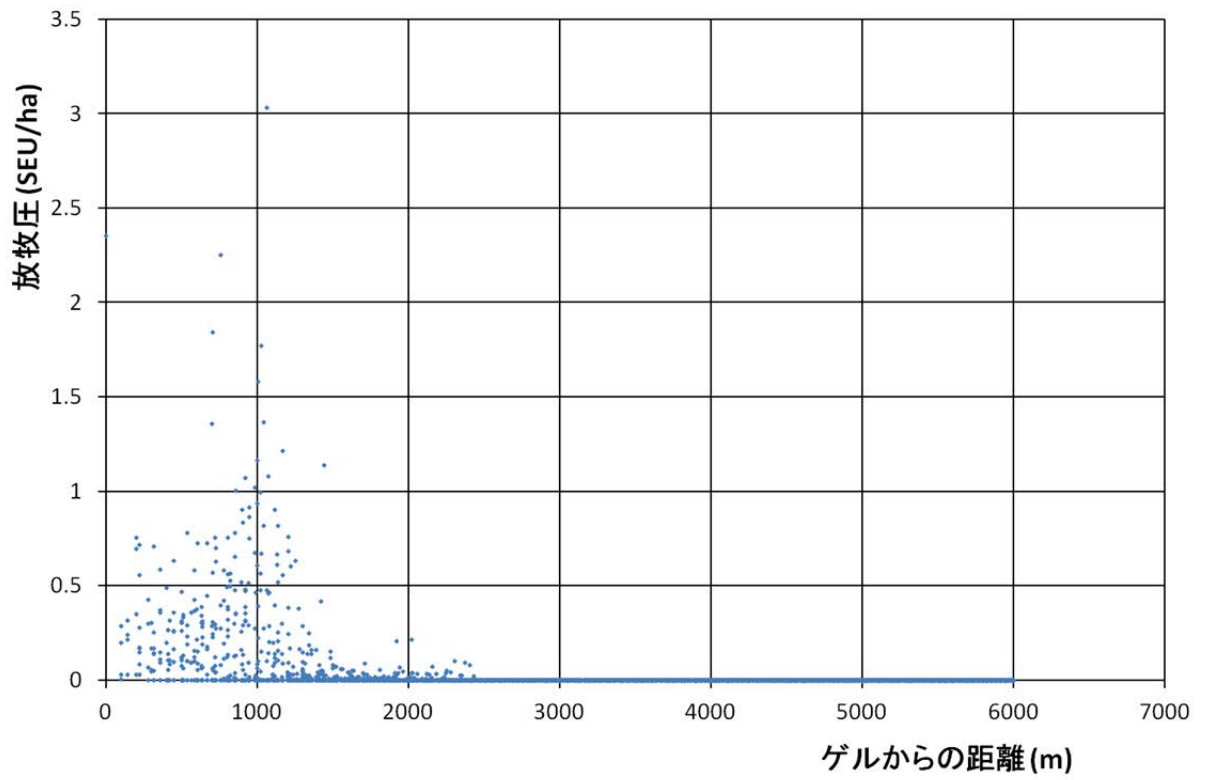


図 44 夏季ゲルにおける羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図

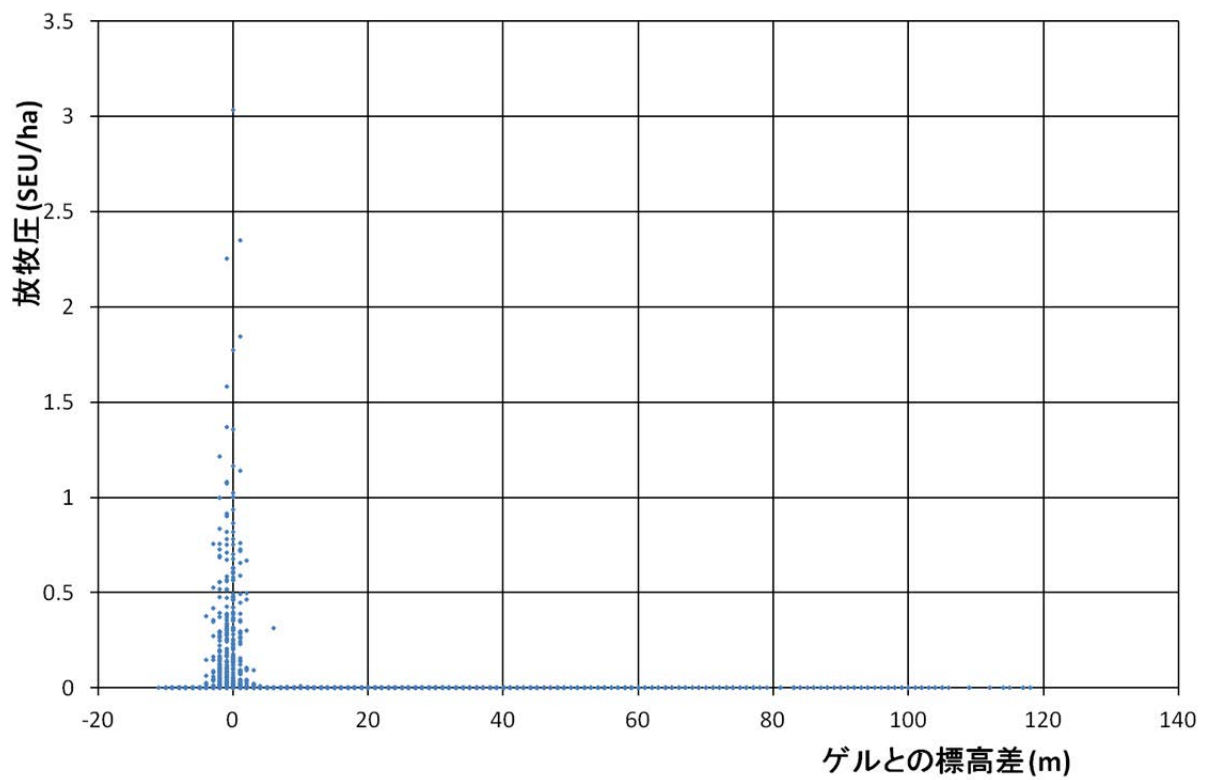


図 45 夏季ゲルにおける羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図

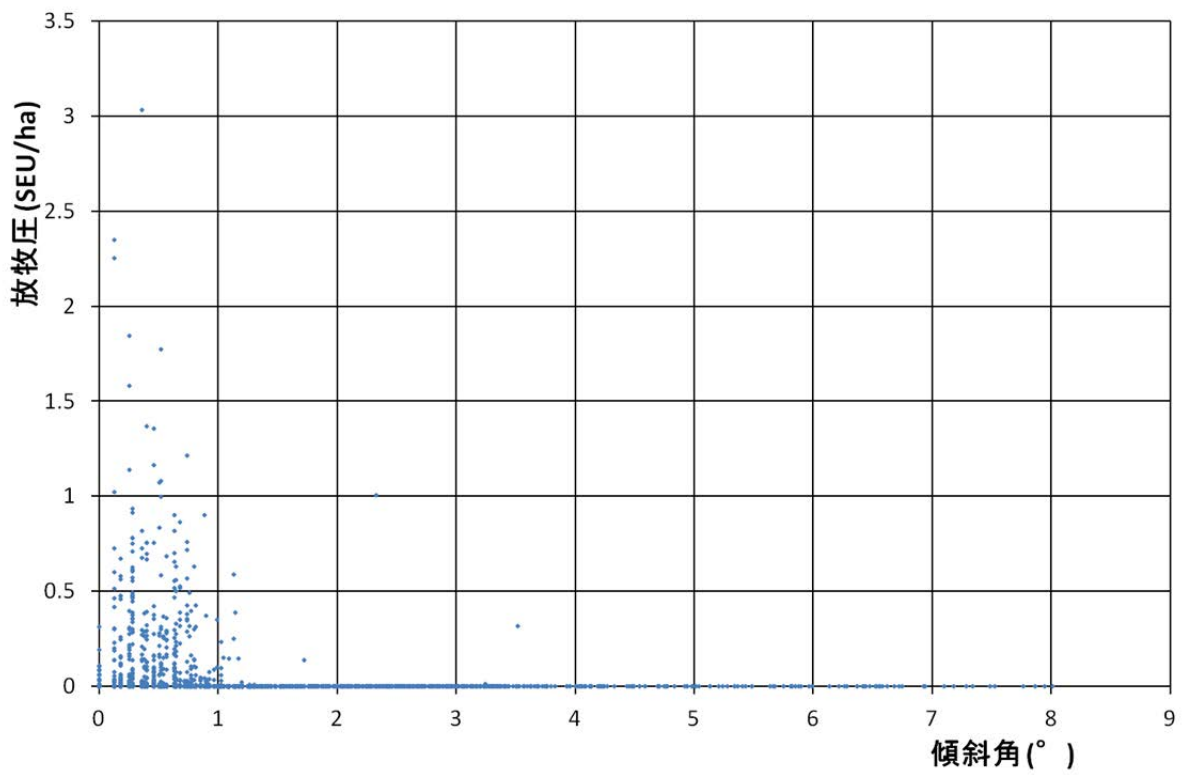


図 46 夏季ゲルにおける羊の放牧圧と傾斜角の散布図

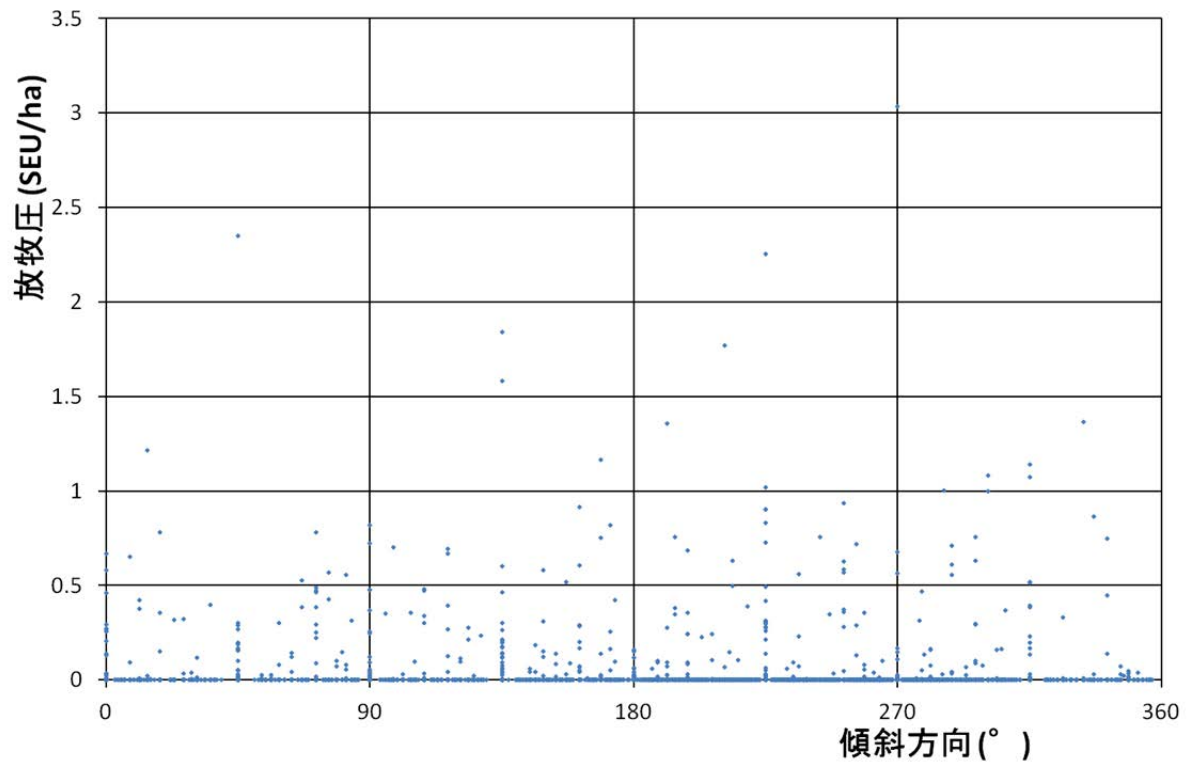


図 47 夏季ゲルにおける羊の放牧圧と傾斜方向の散布図

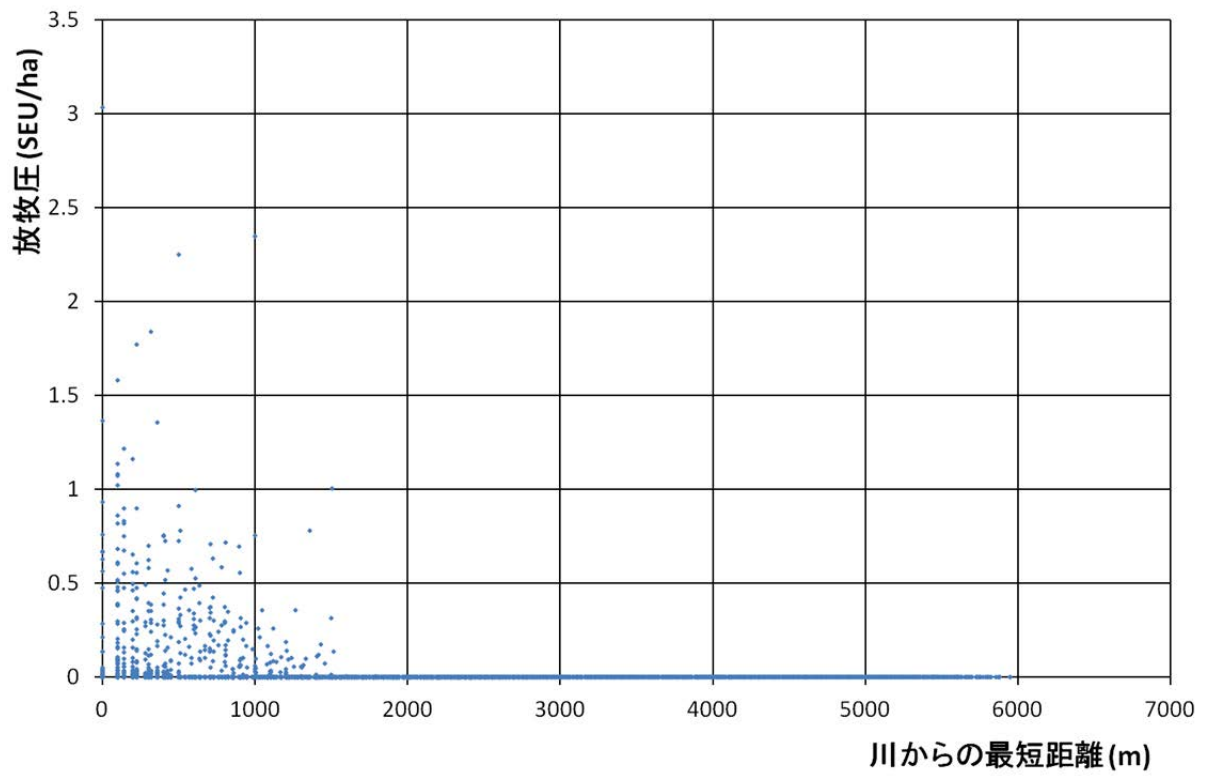


図 48 夏季ゲルにおける羊の放牧圧と川からの最短距離の散布図

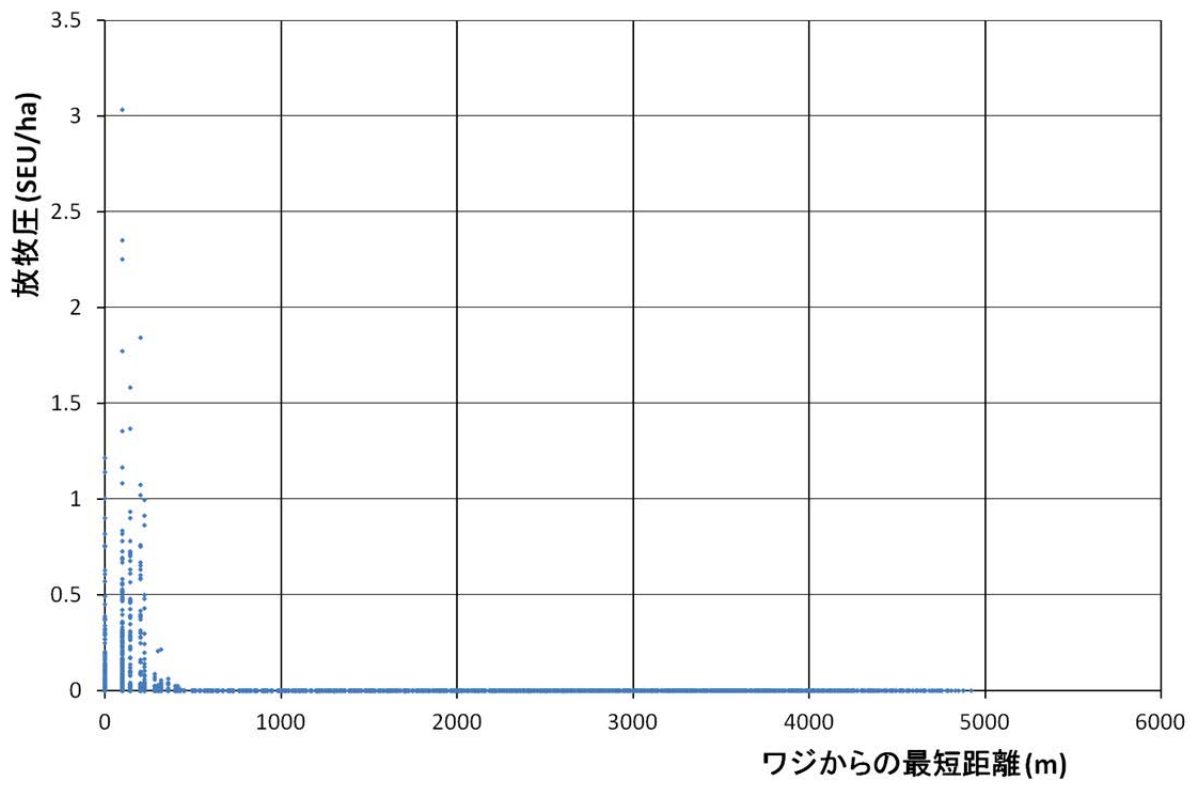


図 49 夏季ゲルにおける羊の放牧圧とワジからの最短距離の散布図

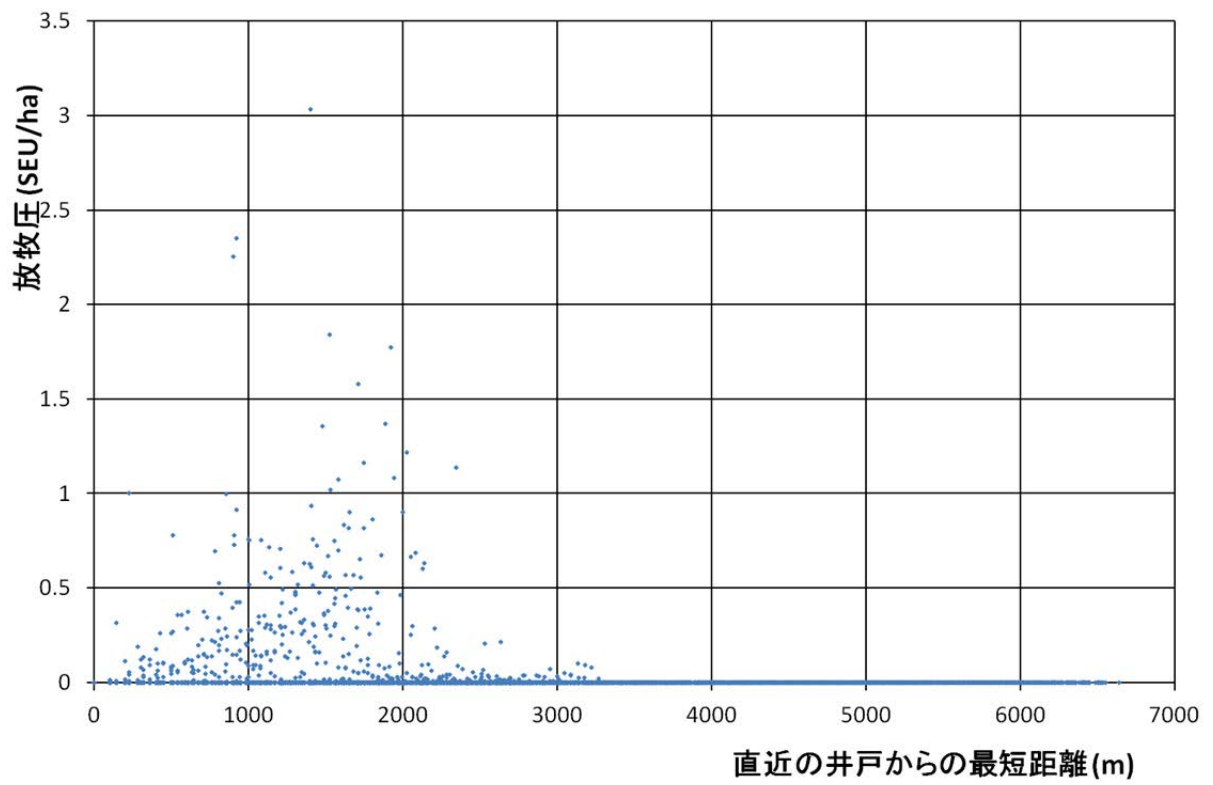


図 50 夏季ゲルにおける羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

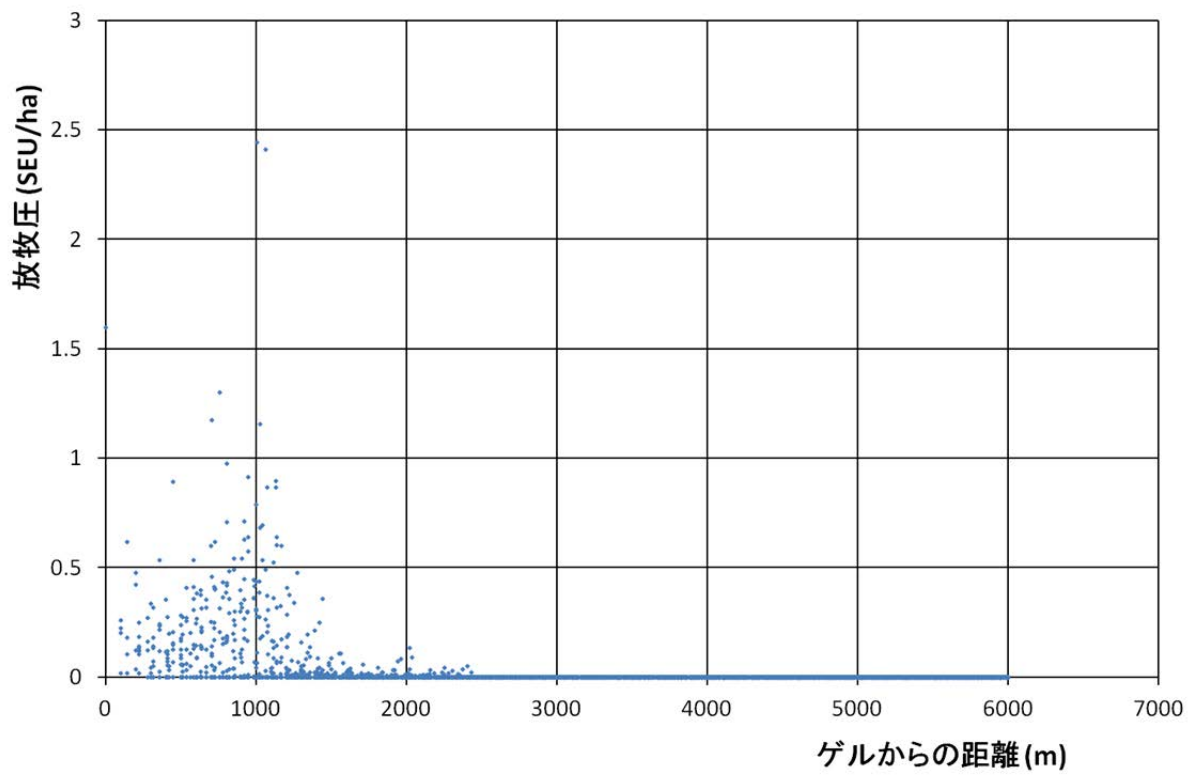


図 51 夏季ゲルにおける山羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図

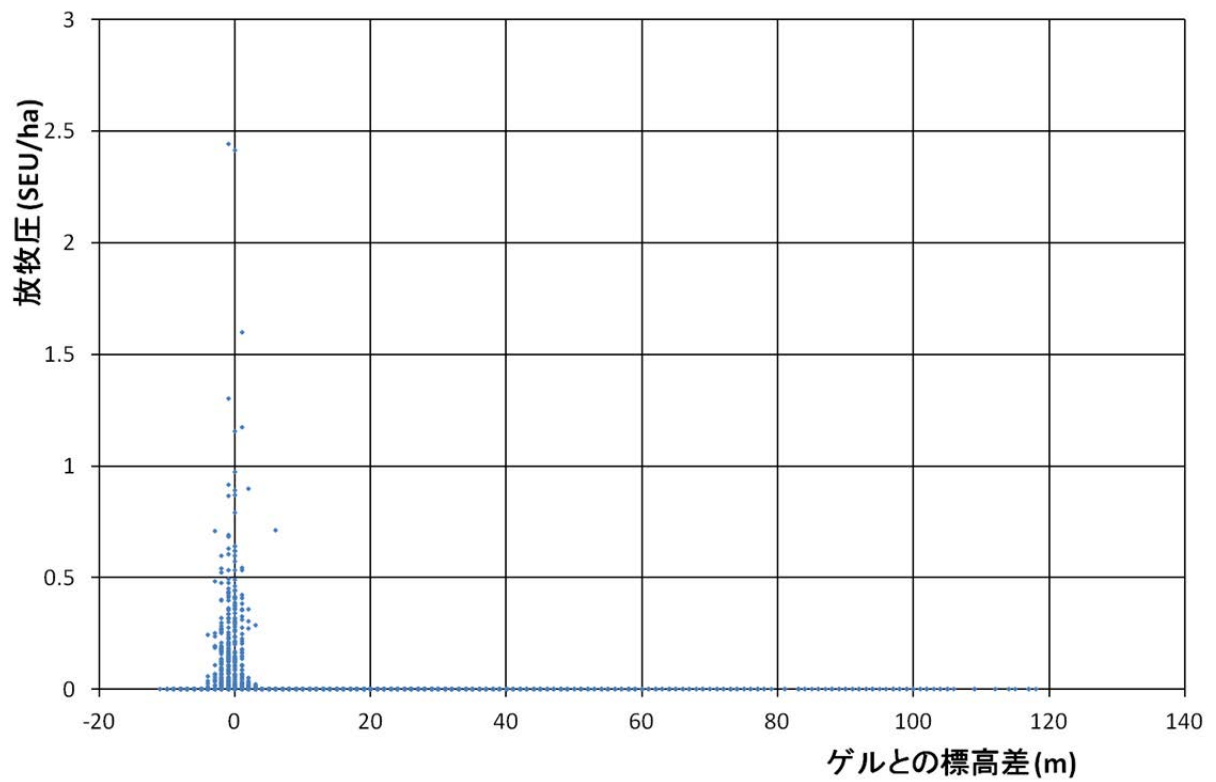


図 52 夏季ゲルにおける山羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図

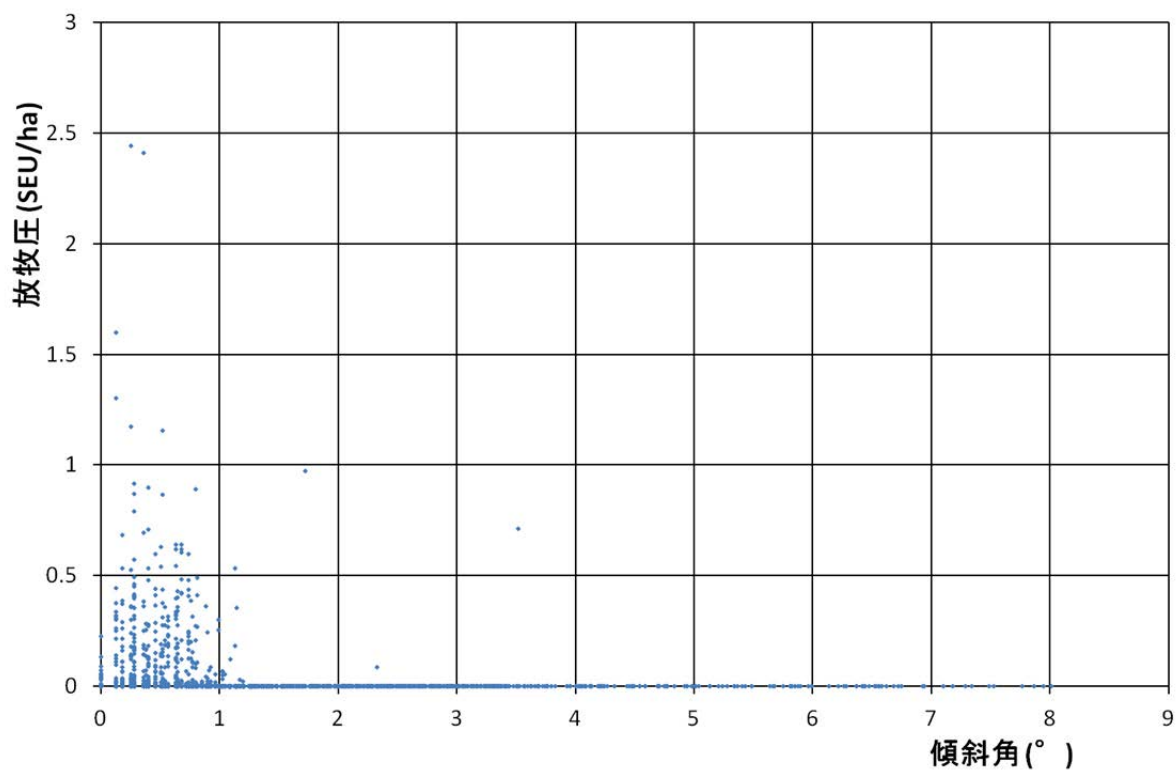


図 53 夏季ゲルにおける山羊の放牧圧と傾斜角の散布図

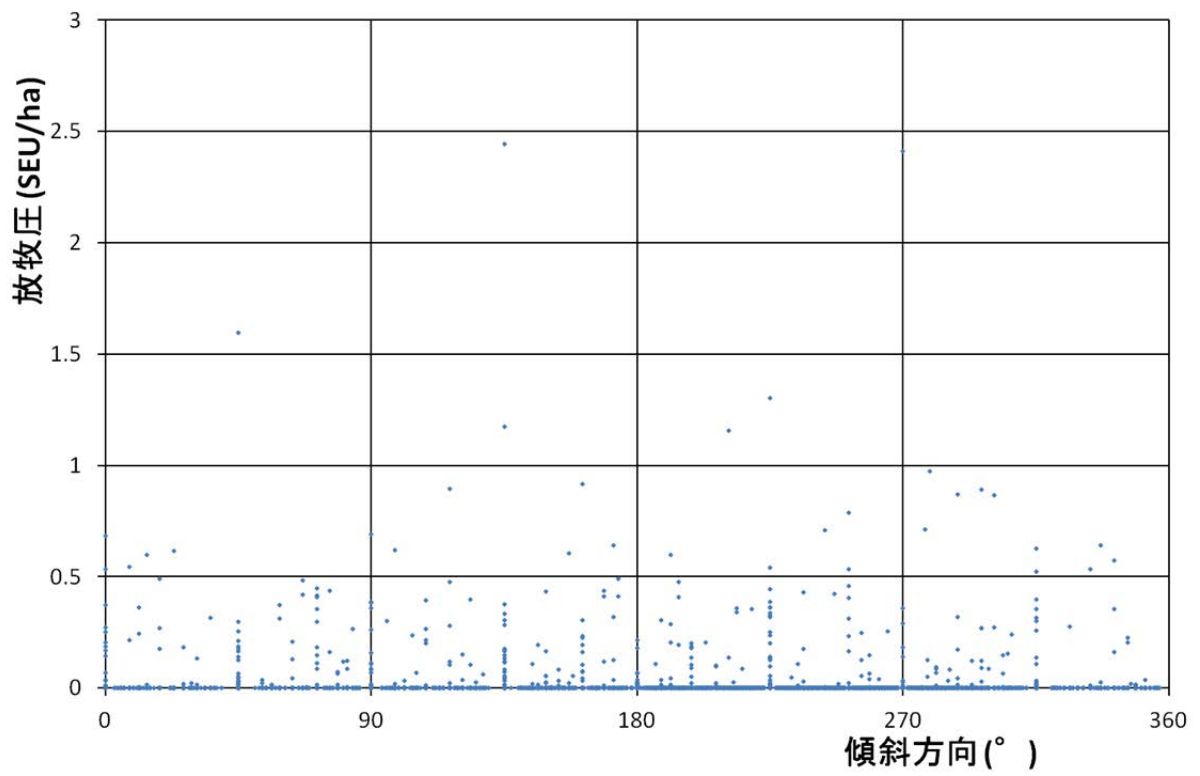


図 54 夏季ゲルにおける山羊の放牧圧と傾斜方向の散布図

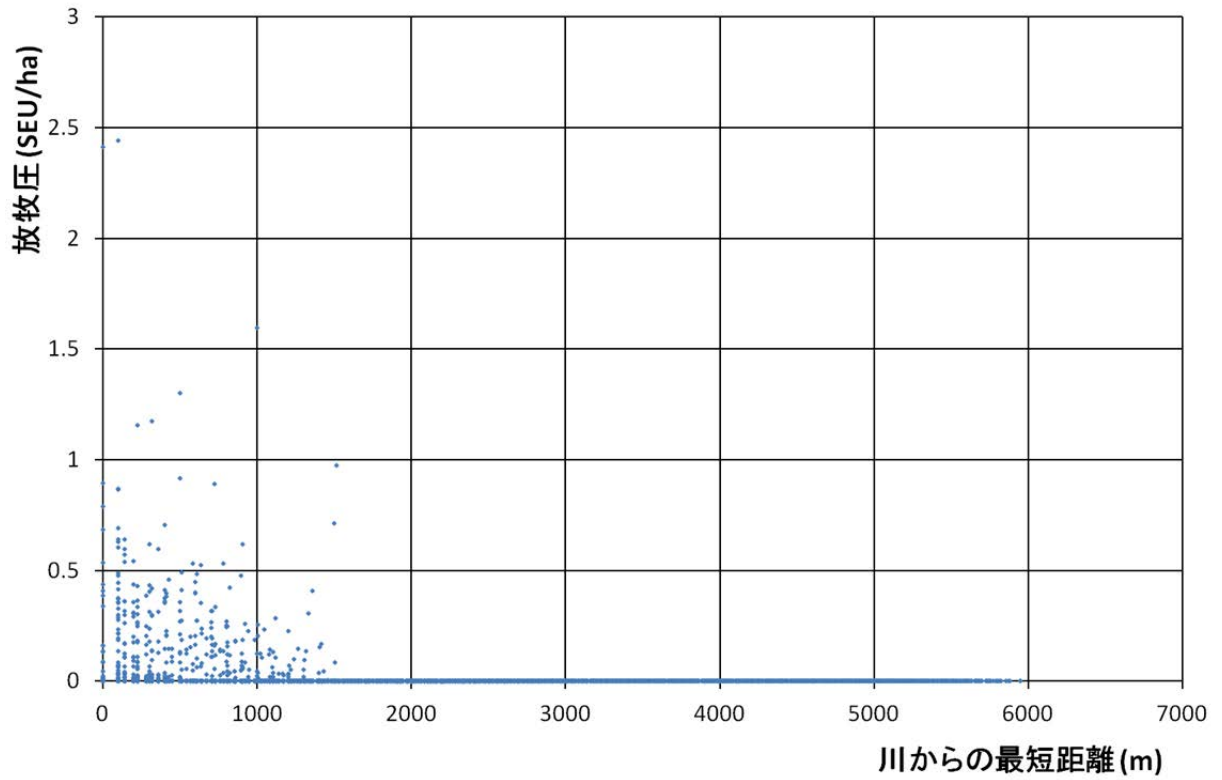


図 55 夏季ゲルにおける山羊の放牧圧と川からの最短距離の散布図

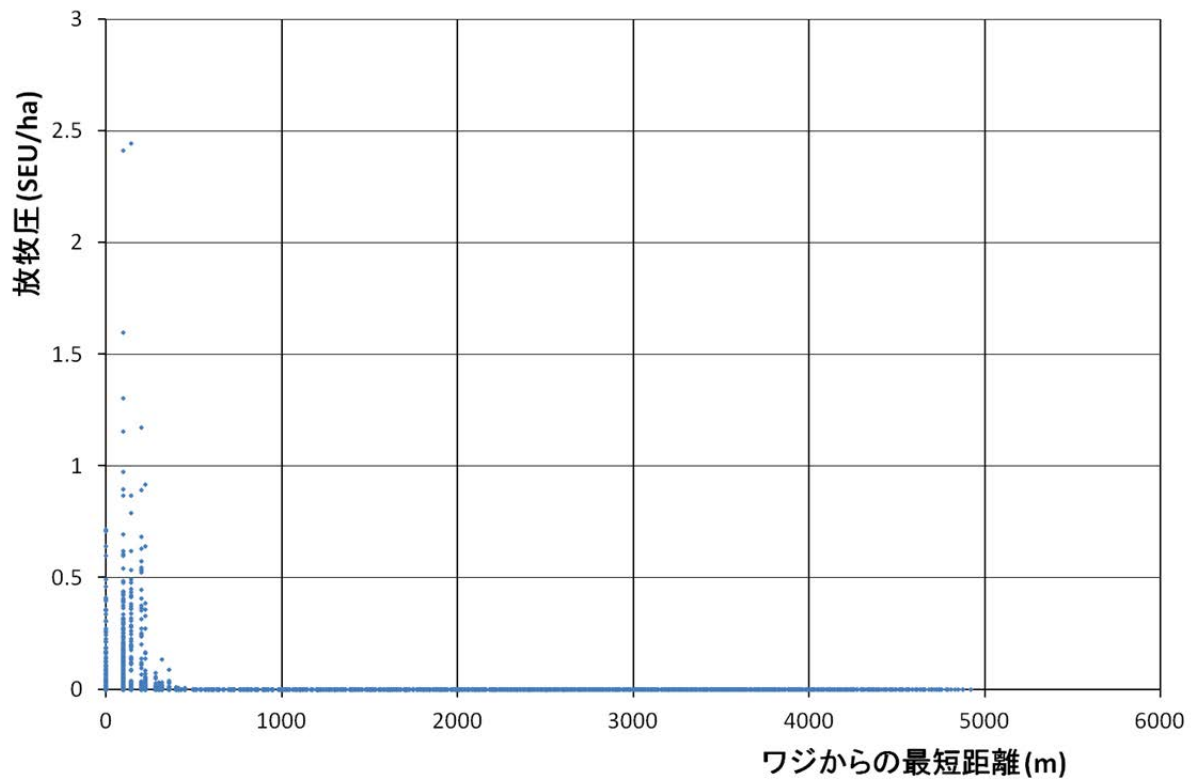


図 56 夏季ゲルにおける山羊の放牧圧とワジからの最短距離の散布図

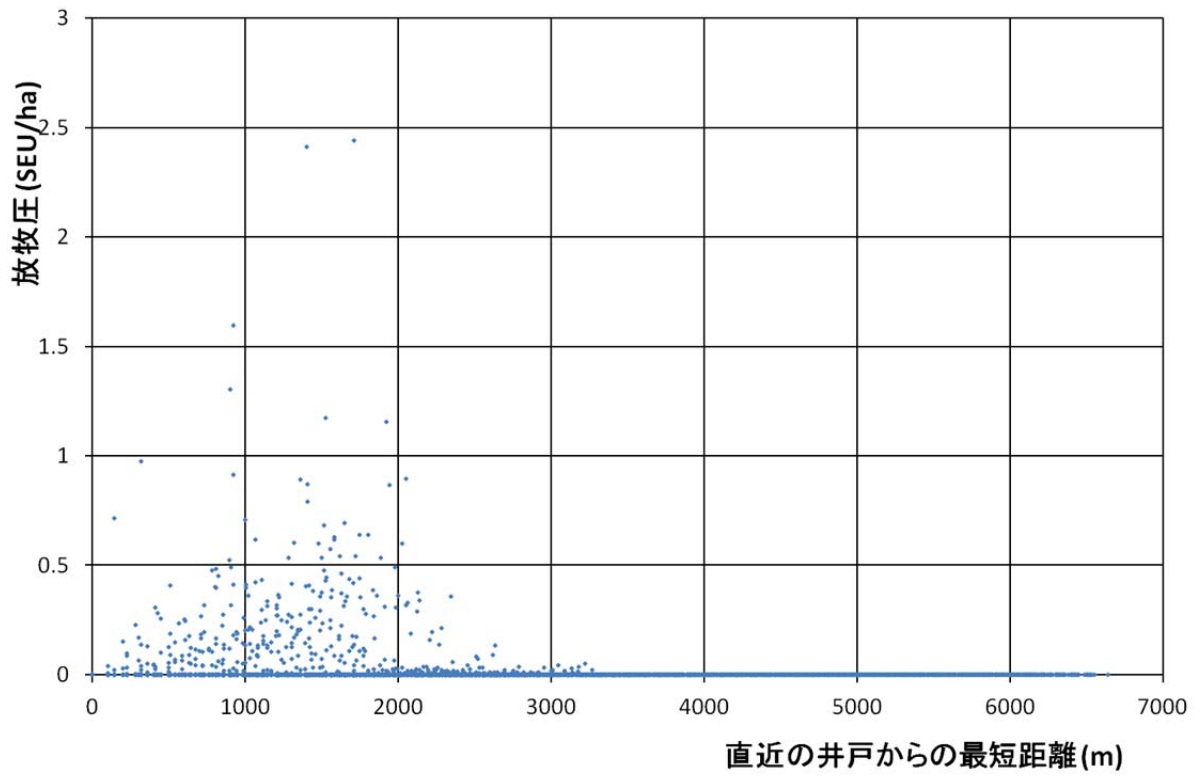


図 57 夏季ゲルにおける山羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

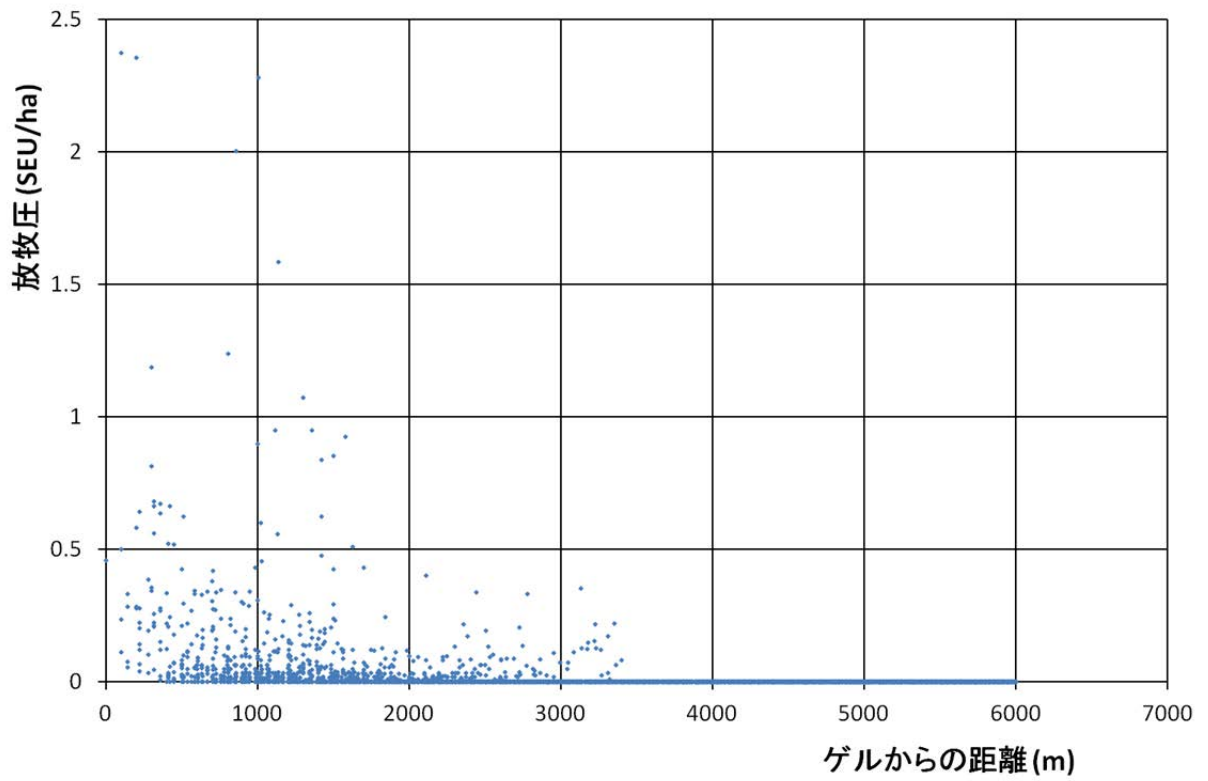


図 58 夏季ゲルにおける牛の放牧圧とゲルからの距離の散布図

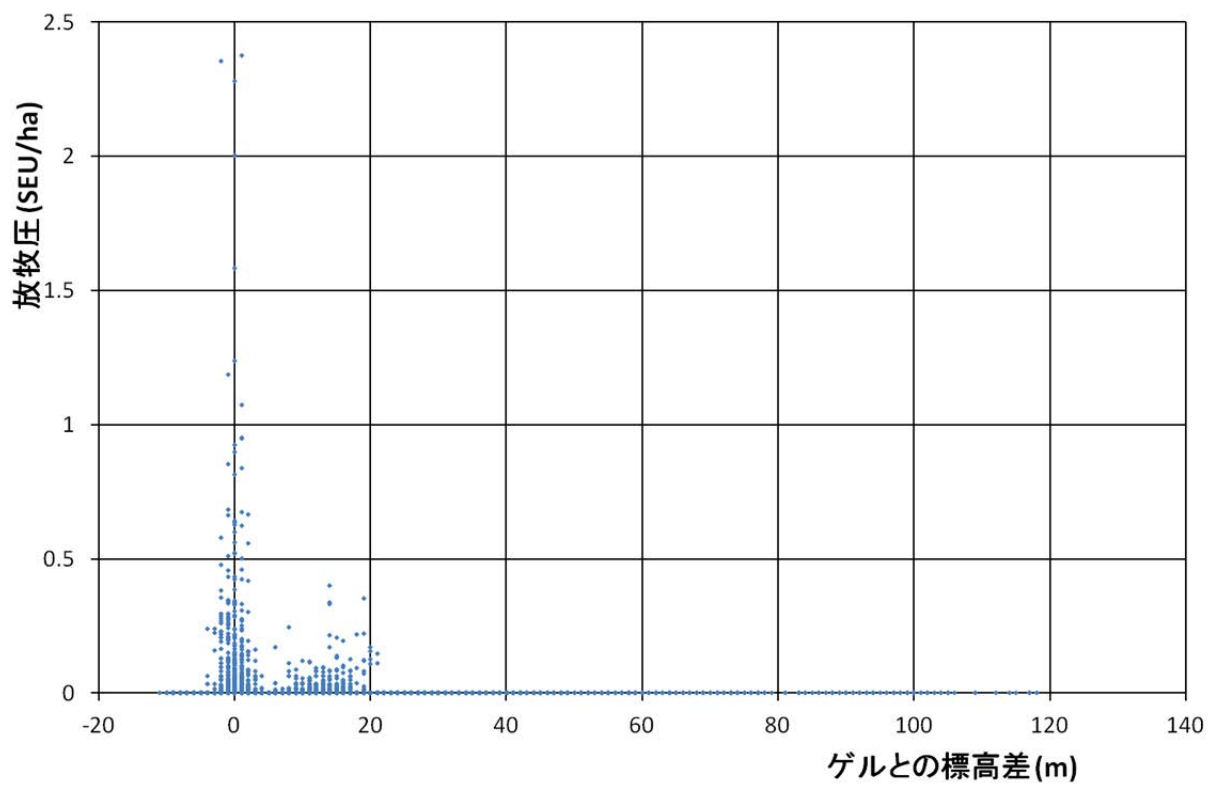


図 59 夏季ゲルにおける牛の放牧圧とゲルとの標高差の散布図

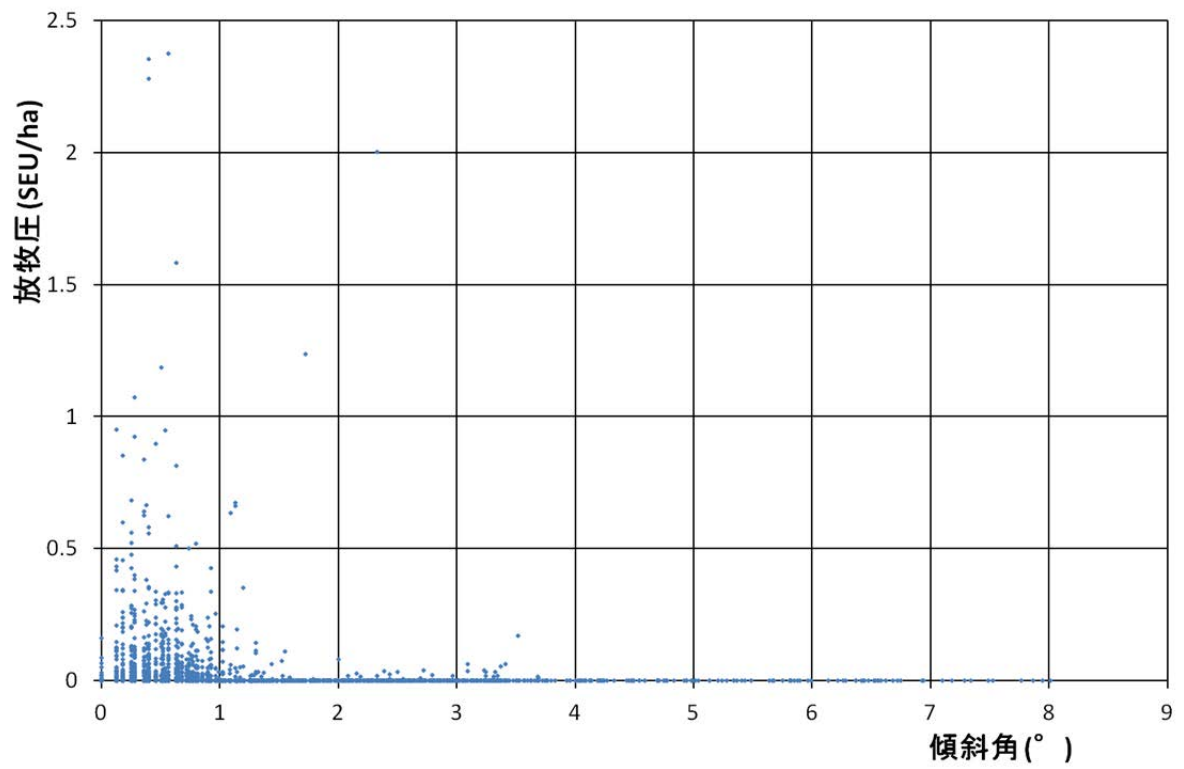


図 60 夏季ゲルにおける牛の放牧圧と傾斜角の散布図

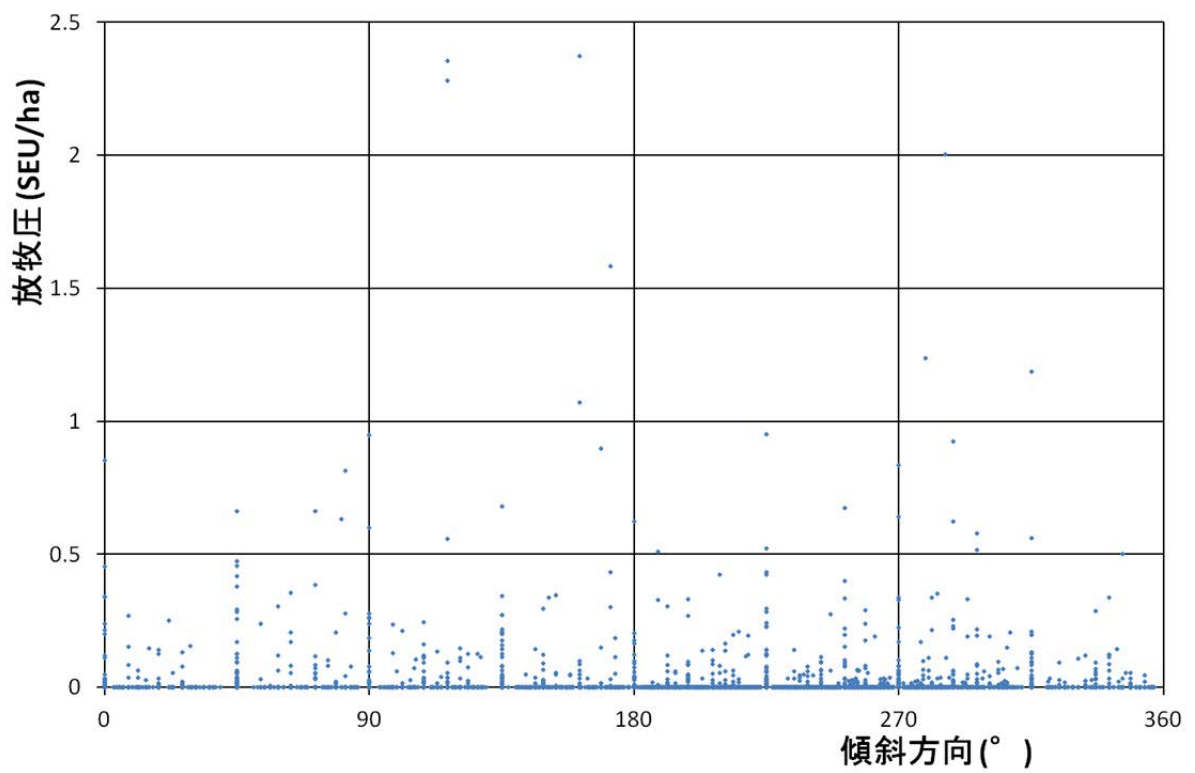


図 61 夏季ゲルにおける牛の放牧圧と傾斜方向の散布図

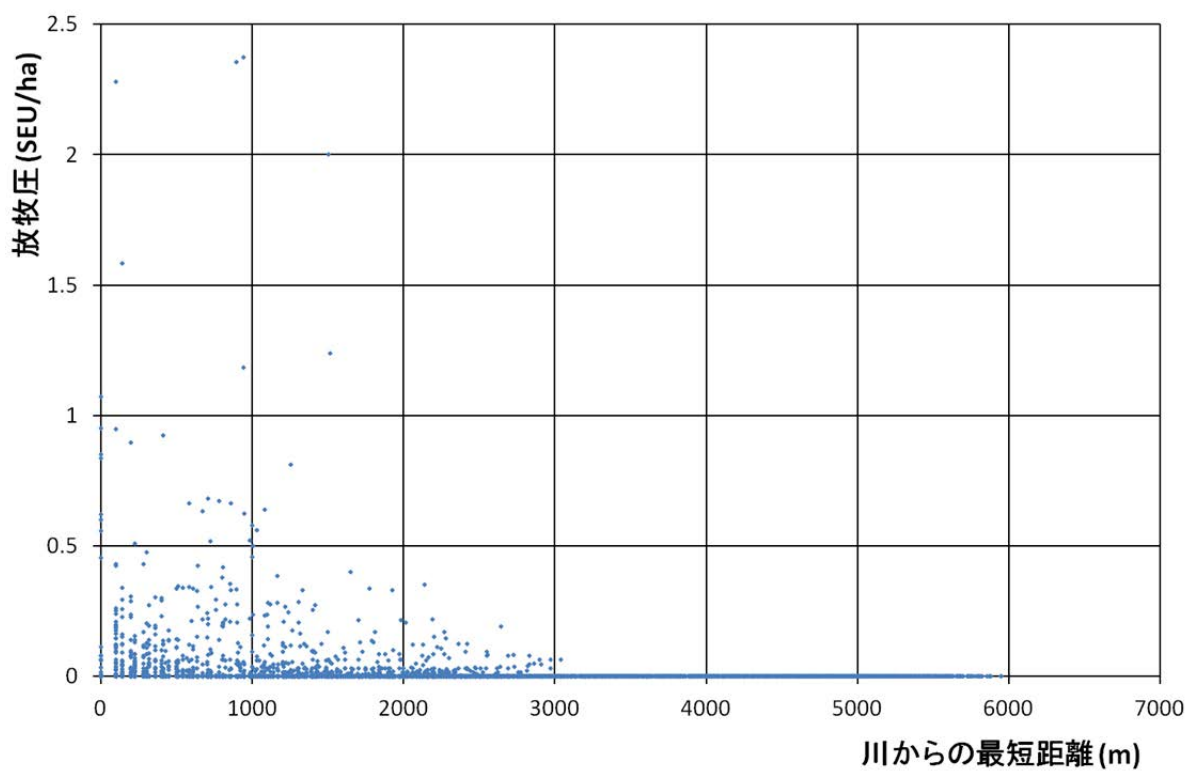


図 62 夏季ゲルにおける牛の放牧圧と川からの最短距離の散布図

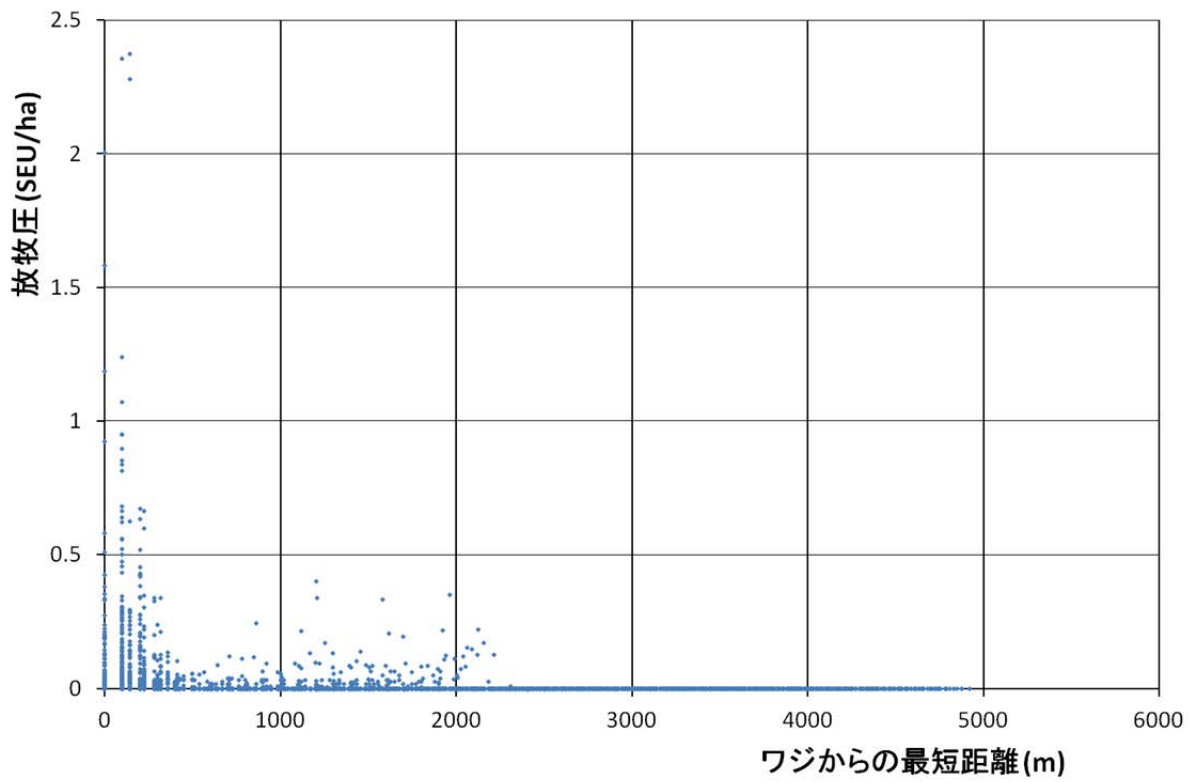


図 63 夏季ゲルにおける牛の放牧圧とワジからの最短距離の散布図

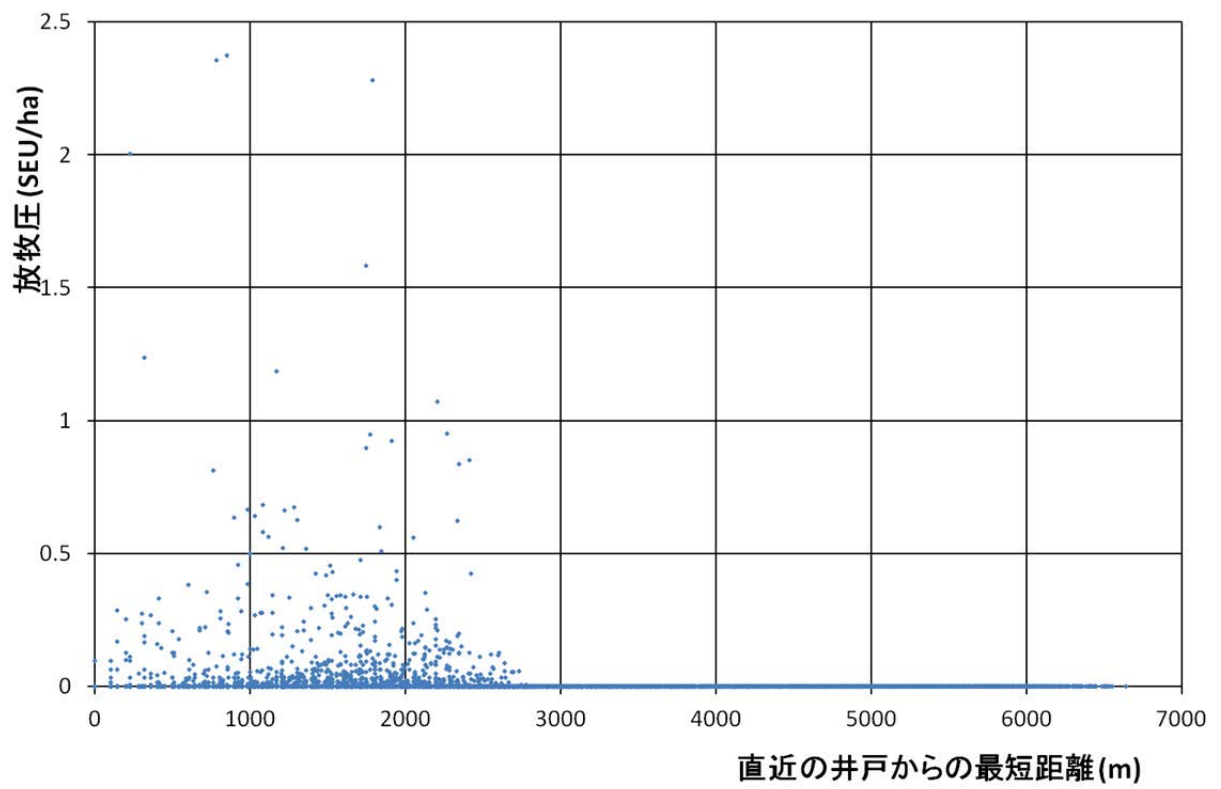


図 64 夏季ゲルにおける牛の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

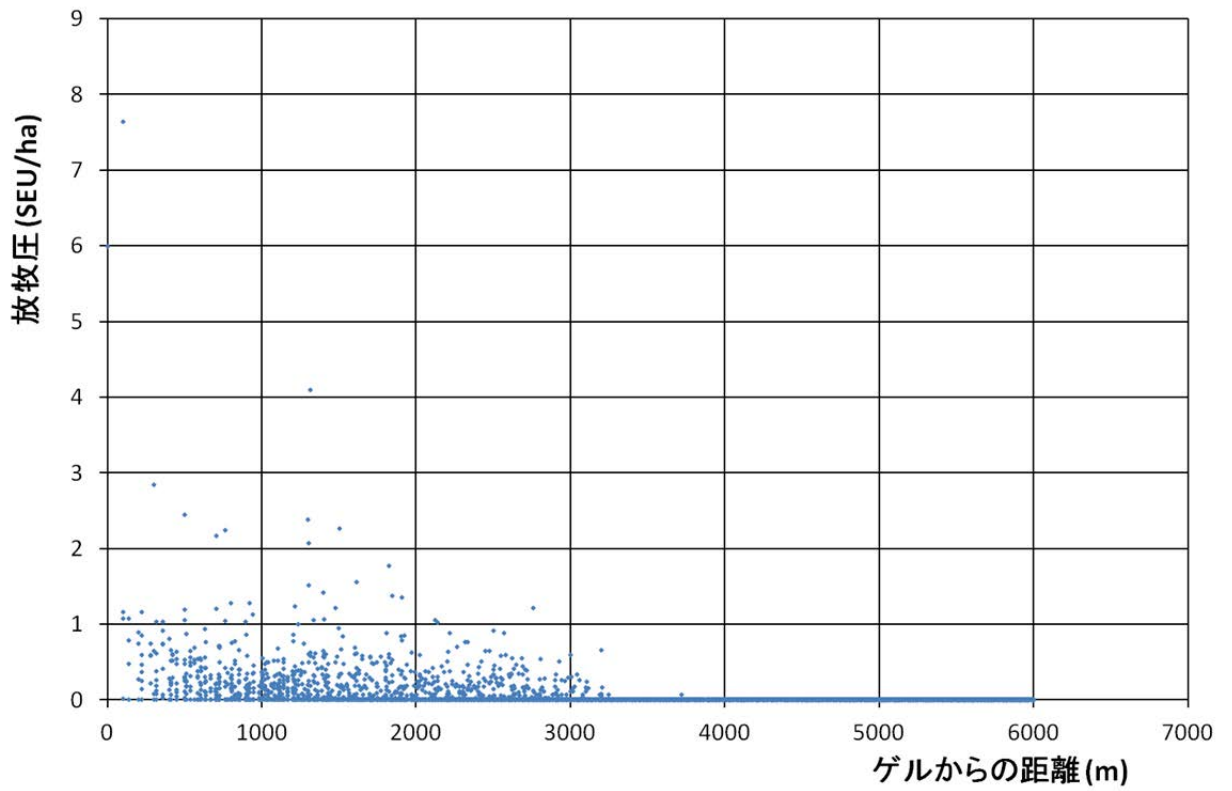


図 65 冬季ゲル 1 における放牧圧とゲルからの距離の散布図

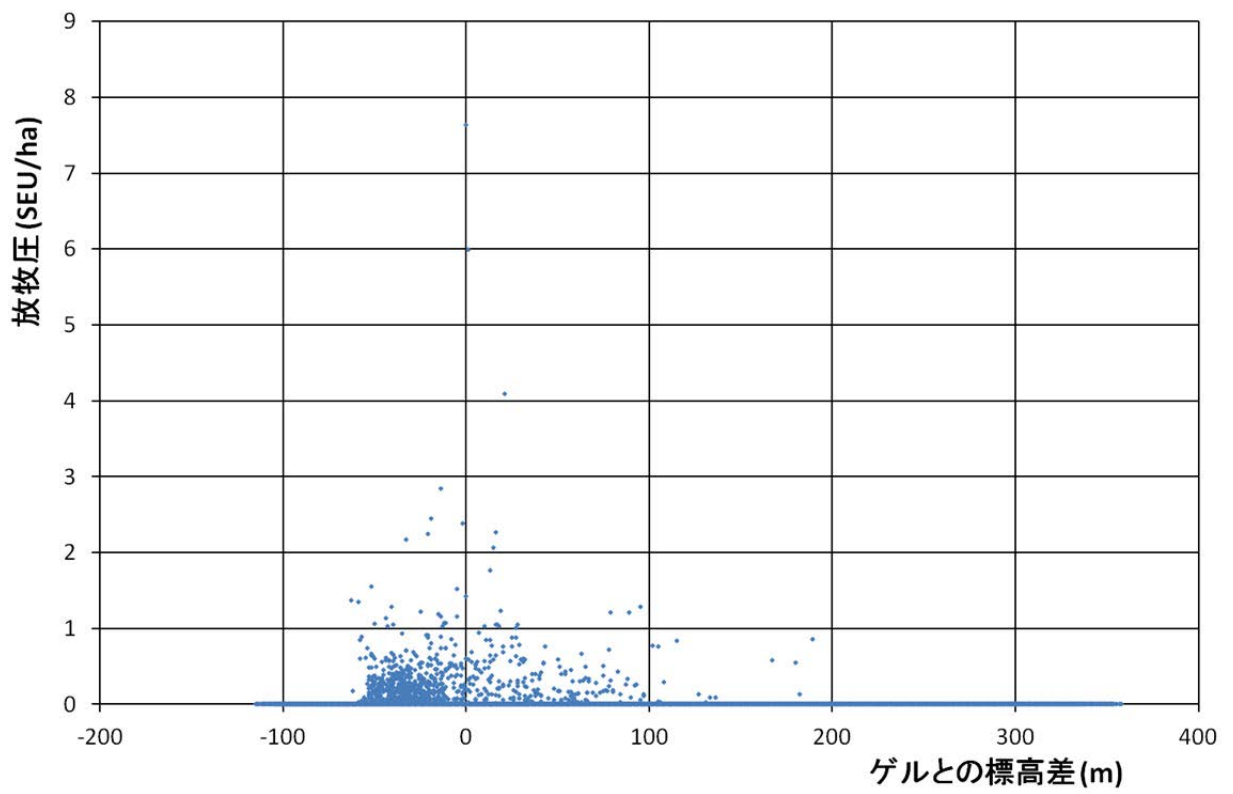


図 66 冬季ゲル 1 における放牧圧とゲルとの標高差の散布図

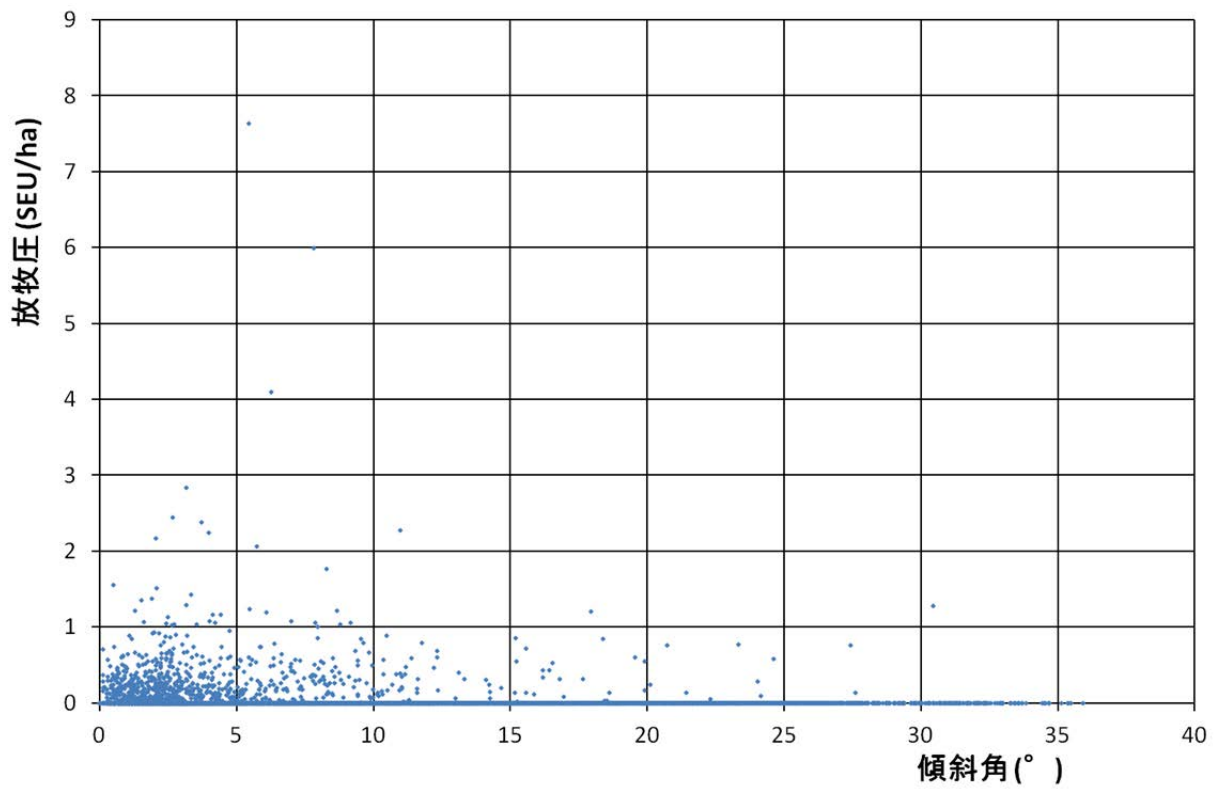


図 67 冬季ゲル 1 における放牧圧と傾斜角の散布図

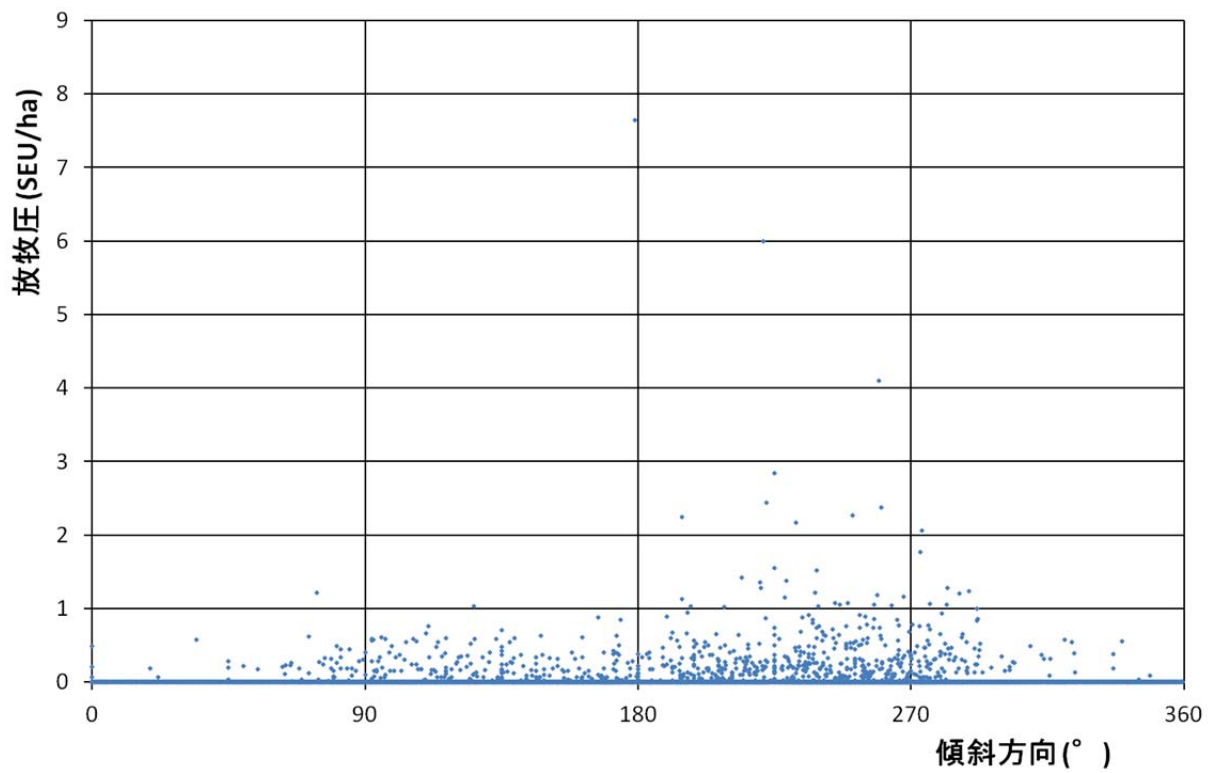


図 68 冬季ゲル 1 における放牧圧と傾斜方向の散布図

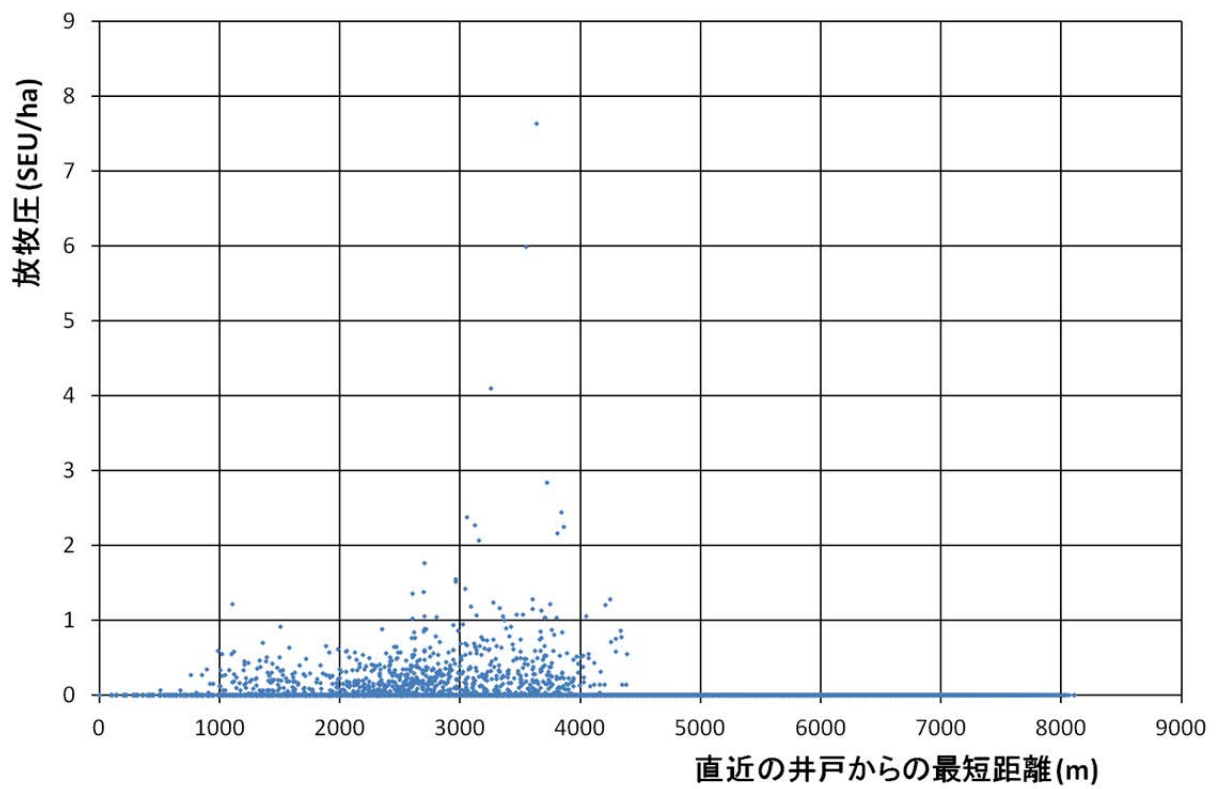


図 69 冬季ゲル 1 における放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

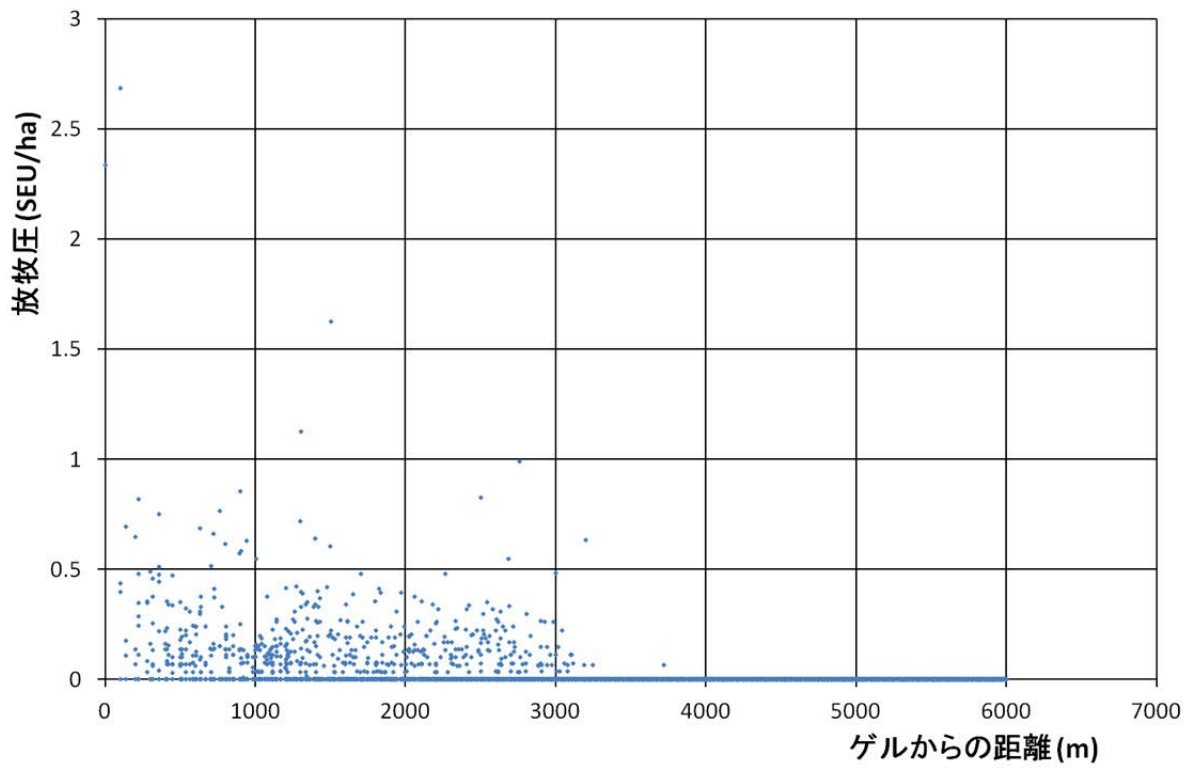


図 70 冬季ゲル 1 における羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図

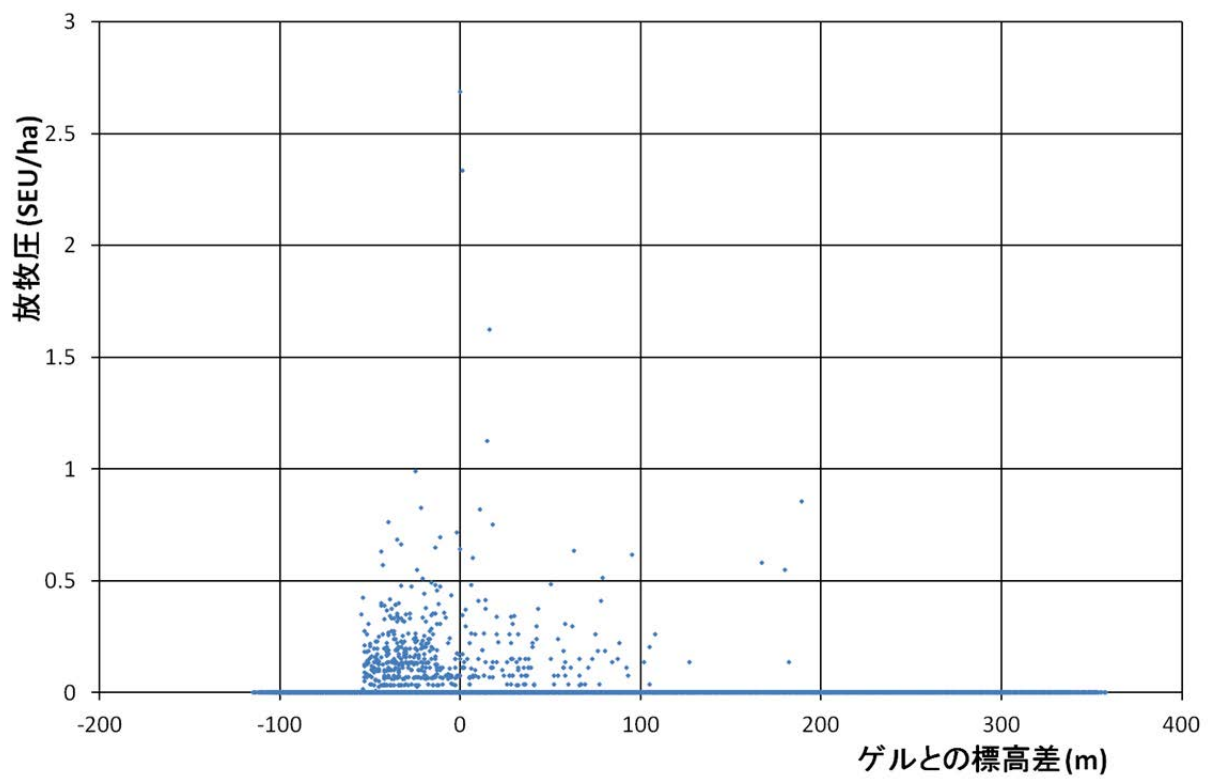


図 71 冬季ゲル 1 における羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図

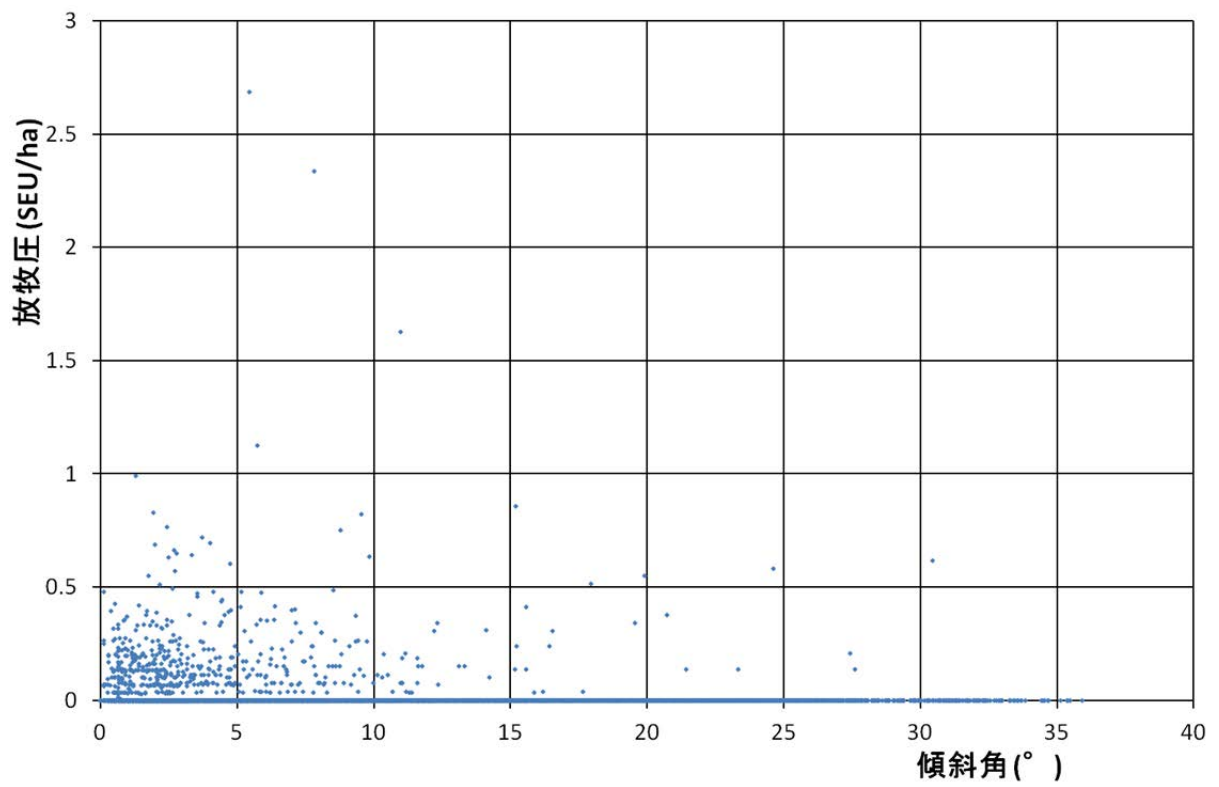


図 72 冬季ゲル 1 における羊の放牧圧と傾斜角の散布図

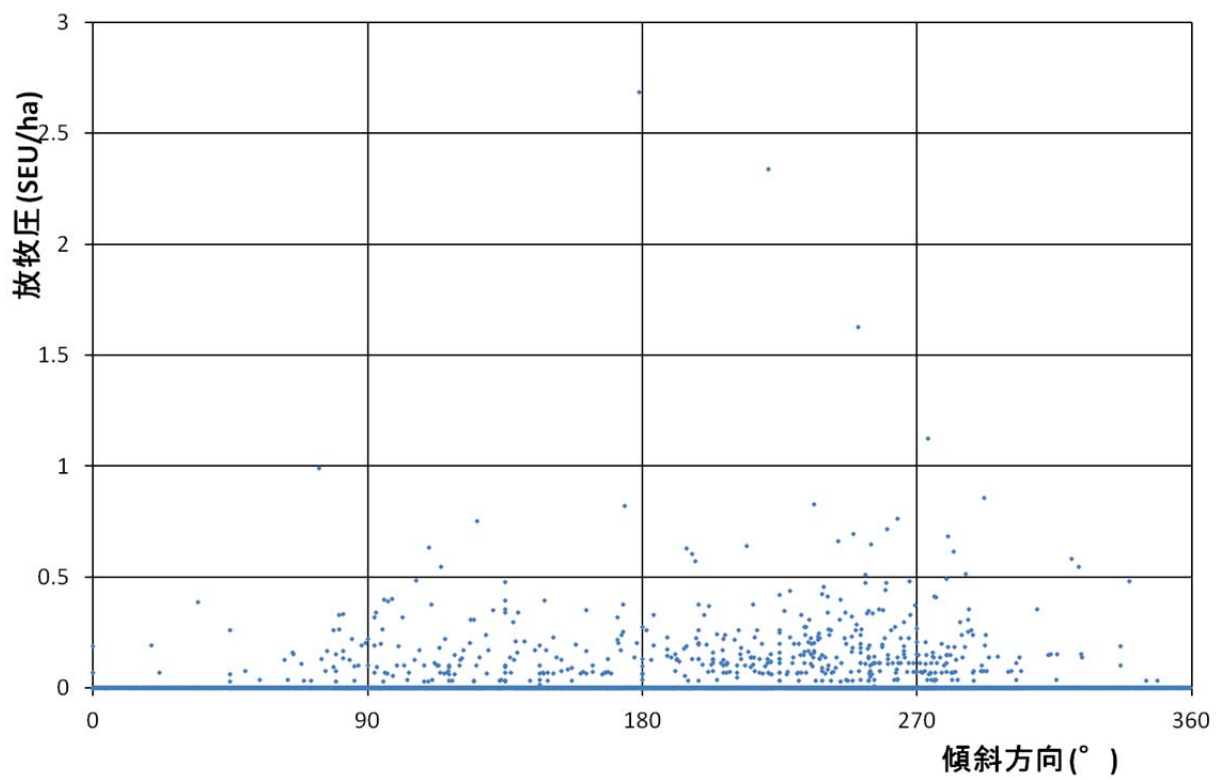


図 73 冬季ゲル 1 における羊の放牧圧と傾斜方向の散布図

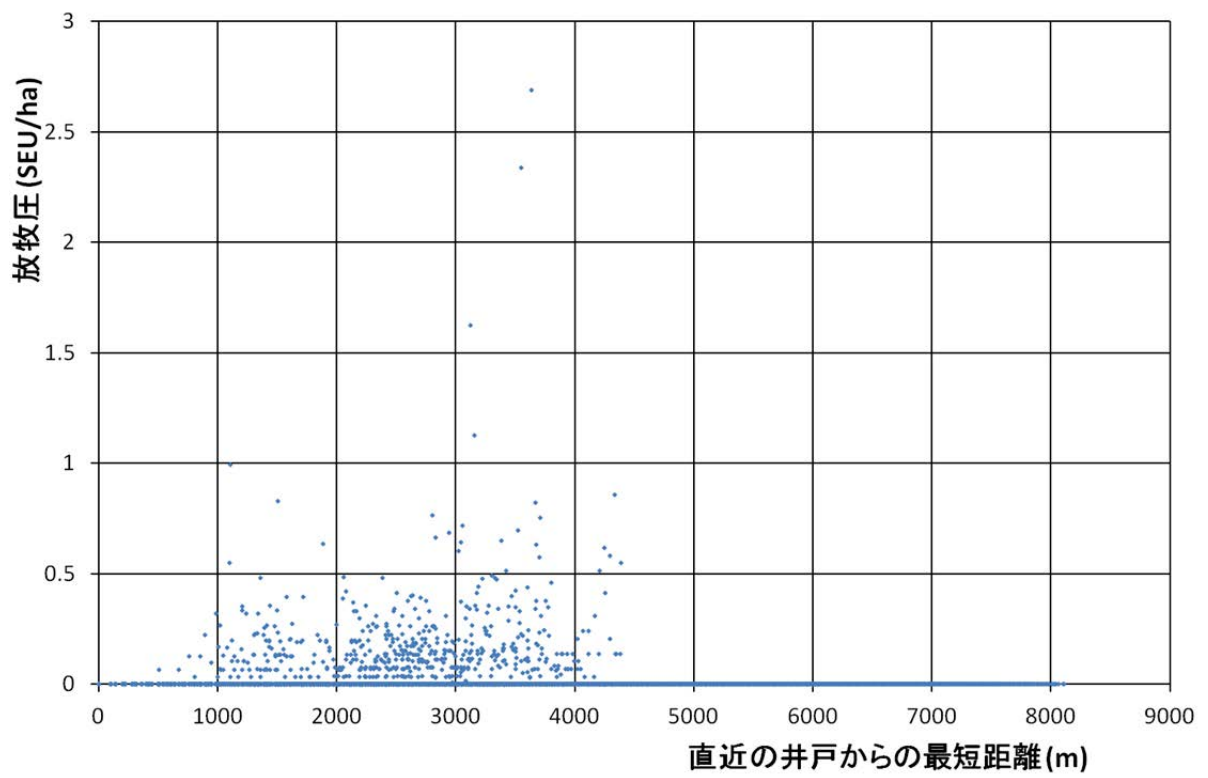


図 74 冬季ゲル 1 における羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

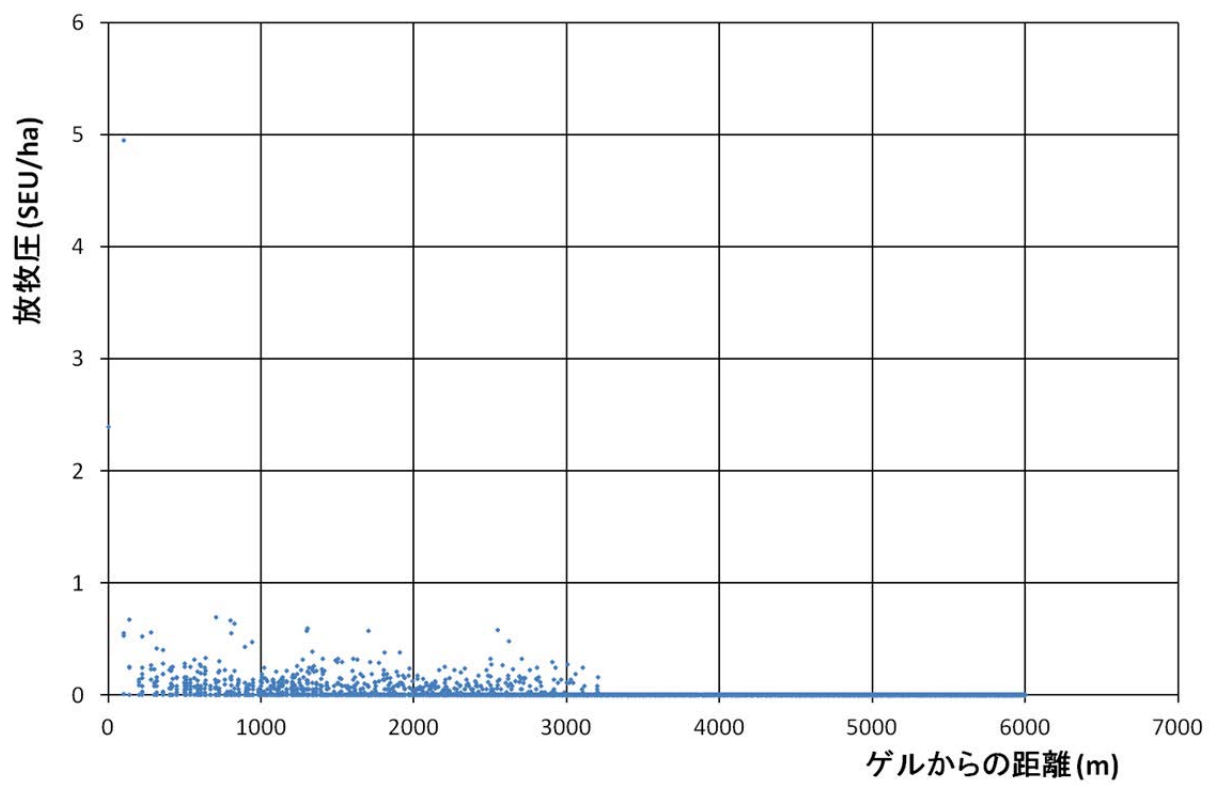


図 75 冬季ゲル 1 における山羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図

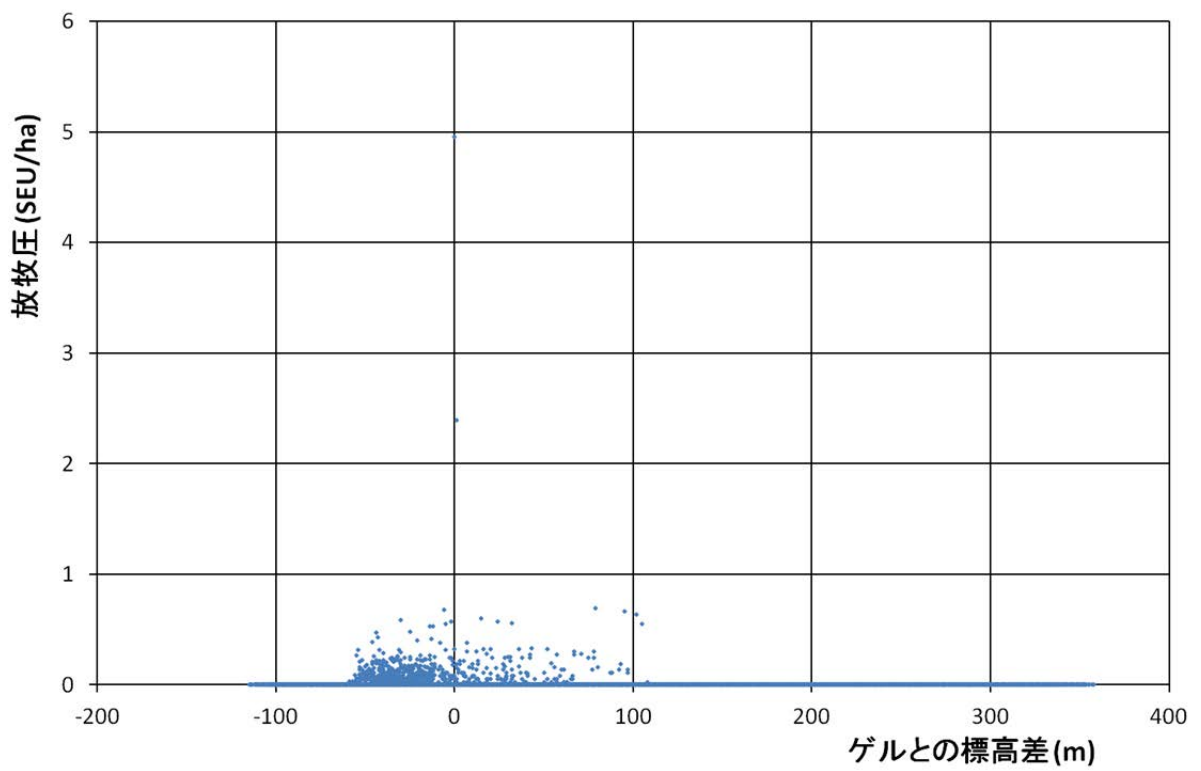


図 76 冬季ゲル 1 における山羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図

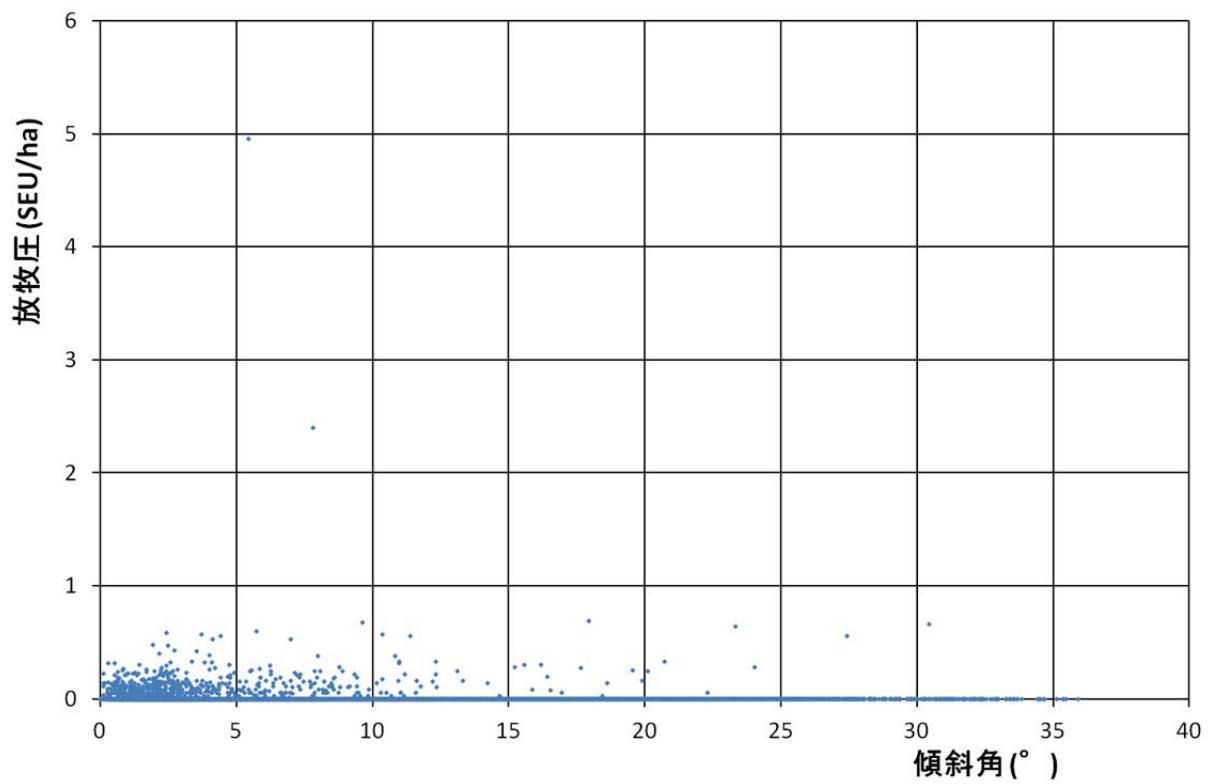


図 77 冬季ゲル 1 における山羊の放牧圧と傾斜角の散布図

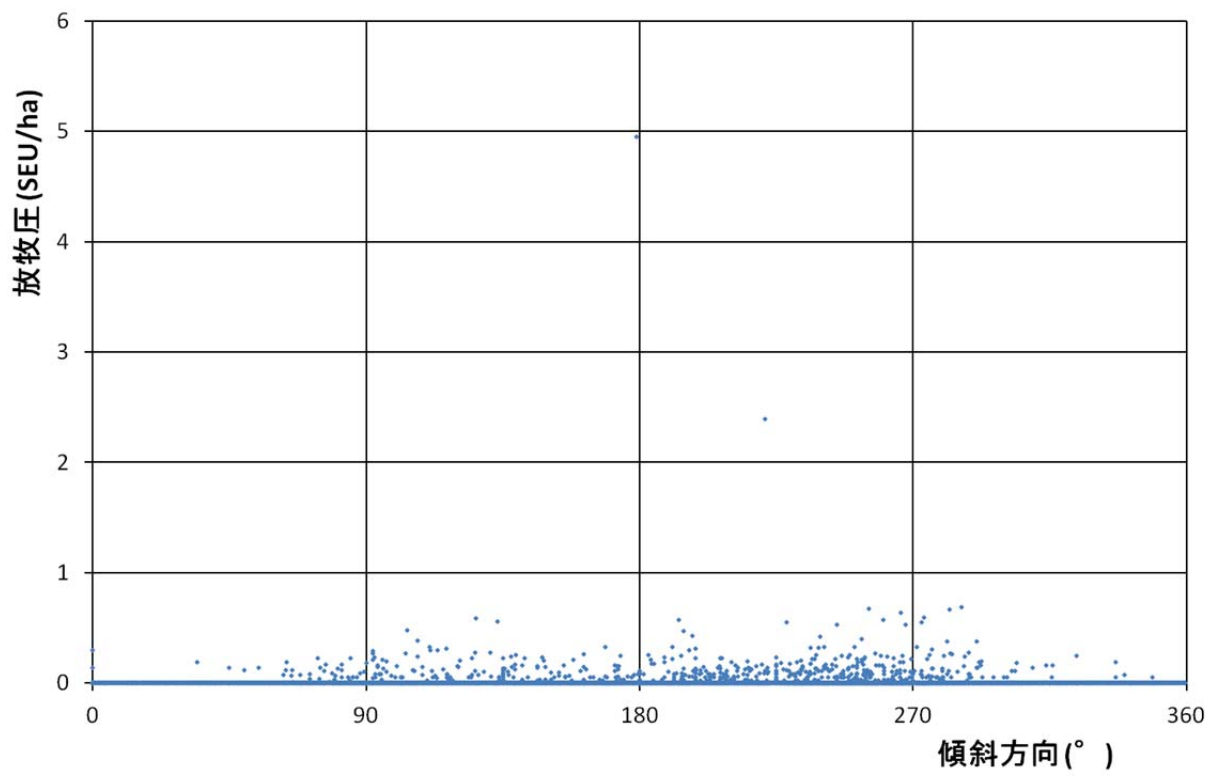


図 78 冬季ゲル 1 における山羊の放牧圧と傾斜方向の散布図

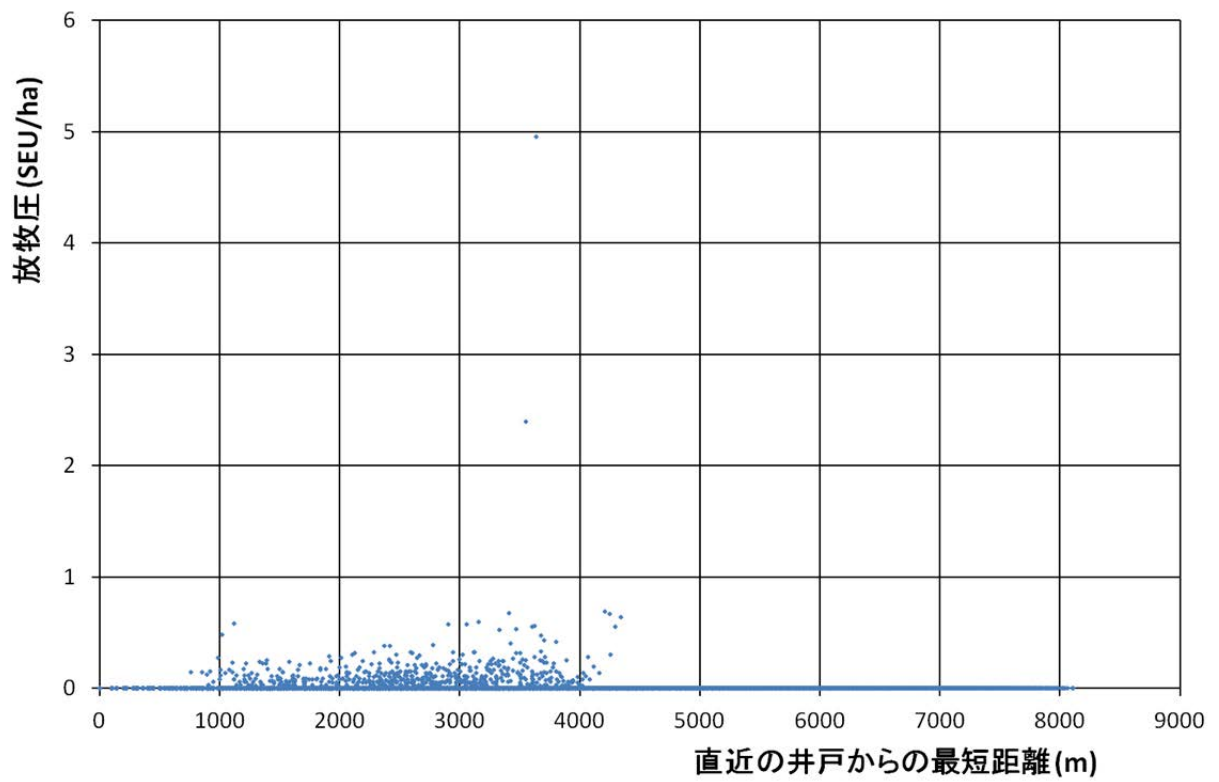


図 79 冬季ゲル 1 における山羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

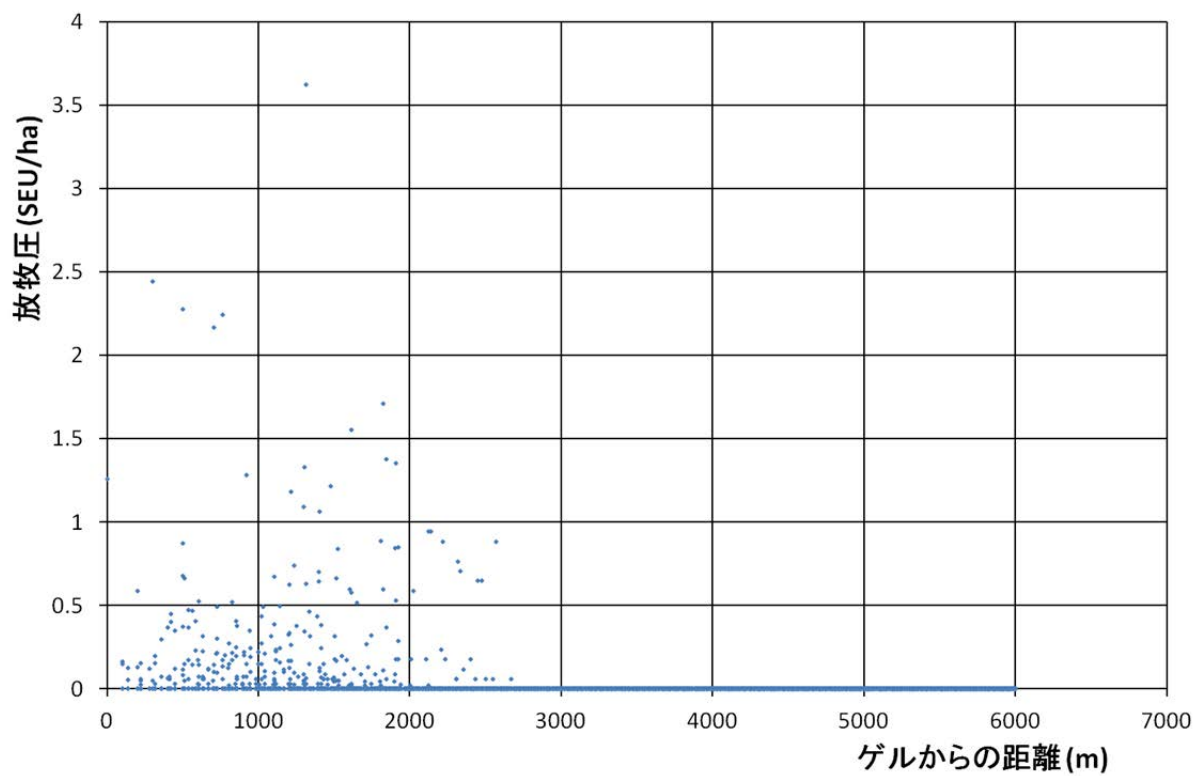


図 80 冬季ゲル 1 における牛の放牧圧とゲルからの距離の散布図

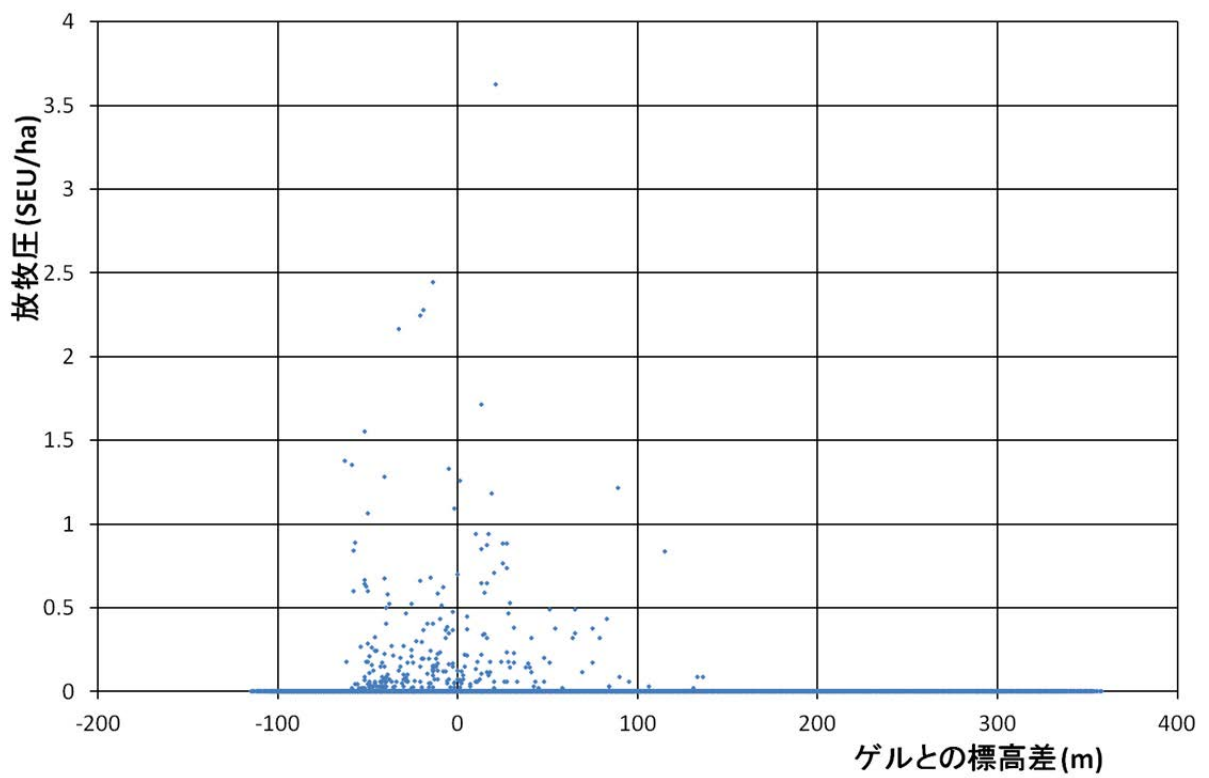


図 81 冬季ゲル 1 における牛の放牧圧とゲルとの標高差の散布図

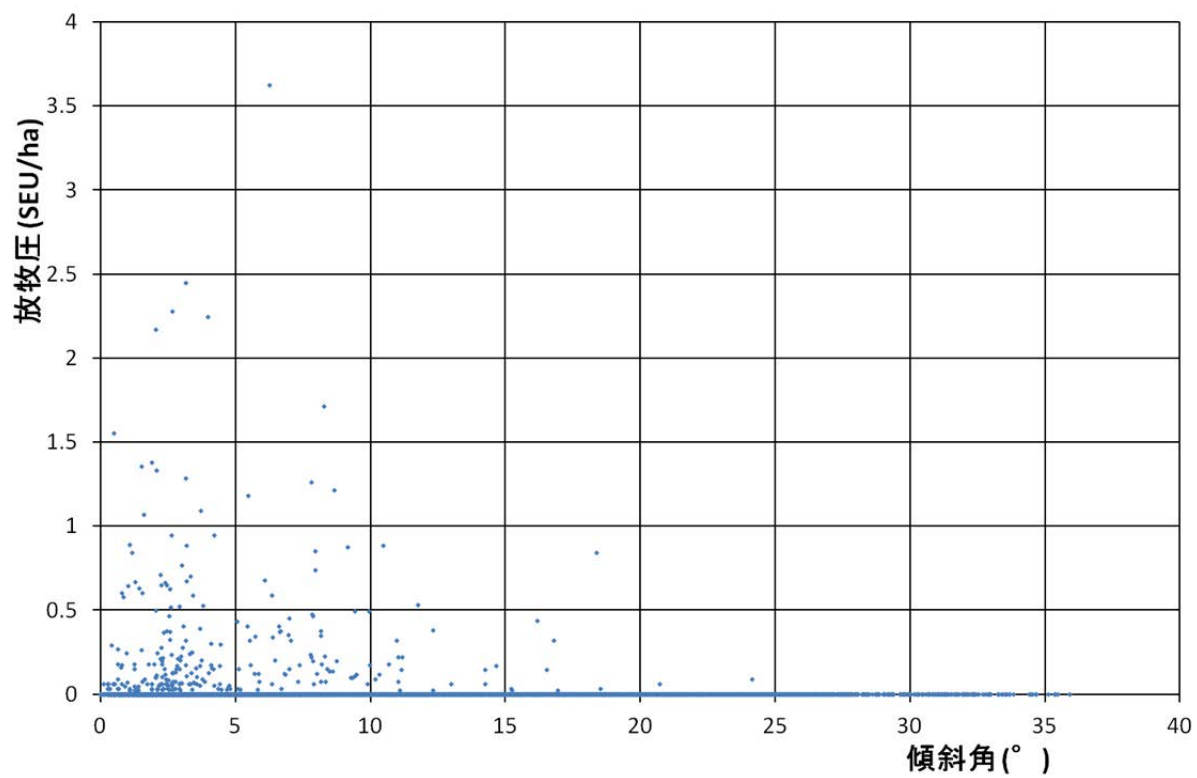


図 82 冬季ゲル 1 における牛の放牧圧と傾斜角の散布図

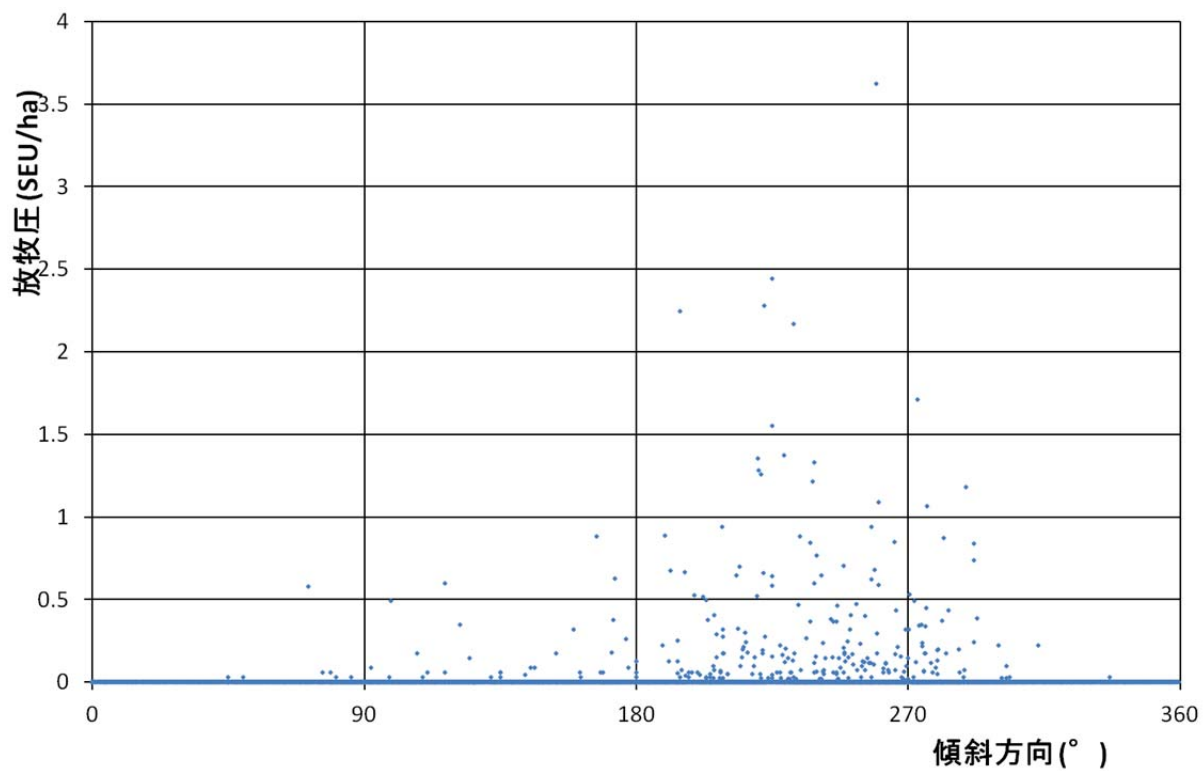


図 83 冬季ゲル 1 における牛の放牧圧と傾斜方向の散布図

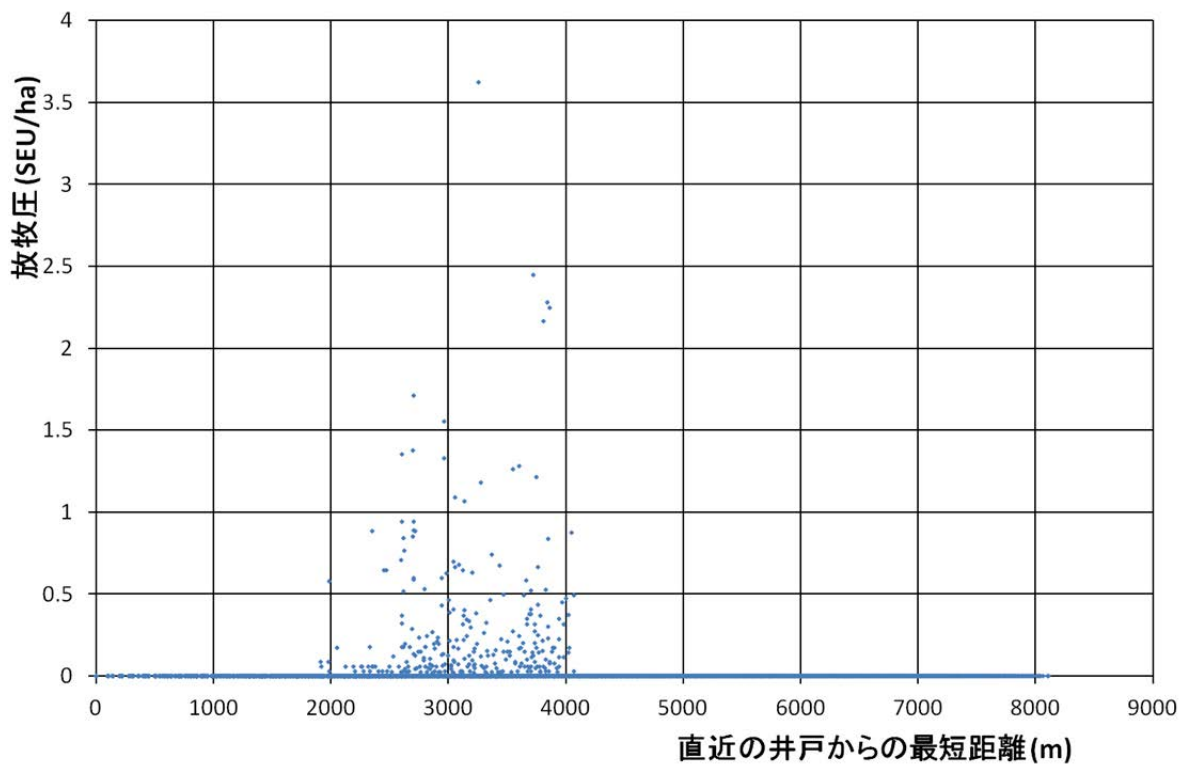


図 84 冬季ゲル 1 における牛の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

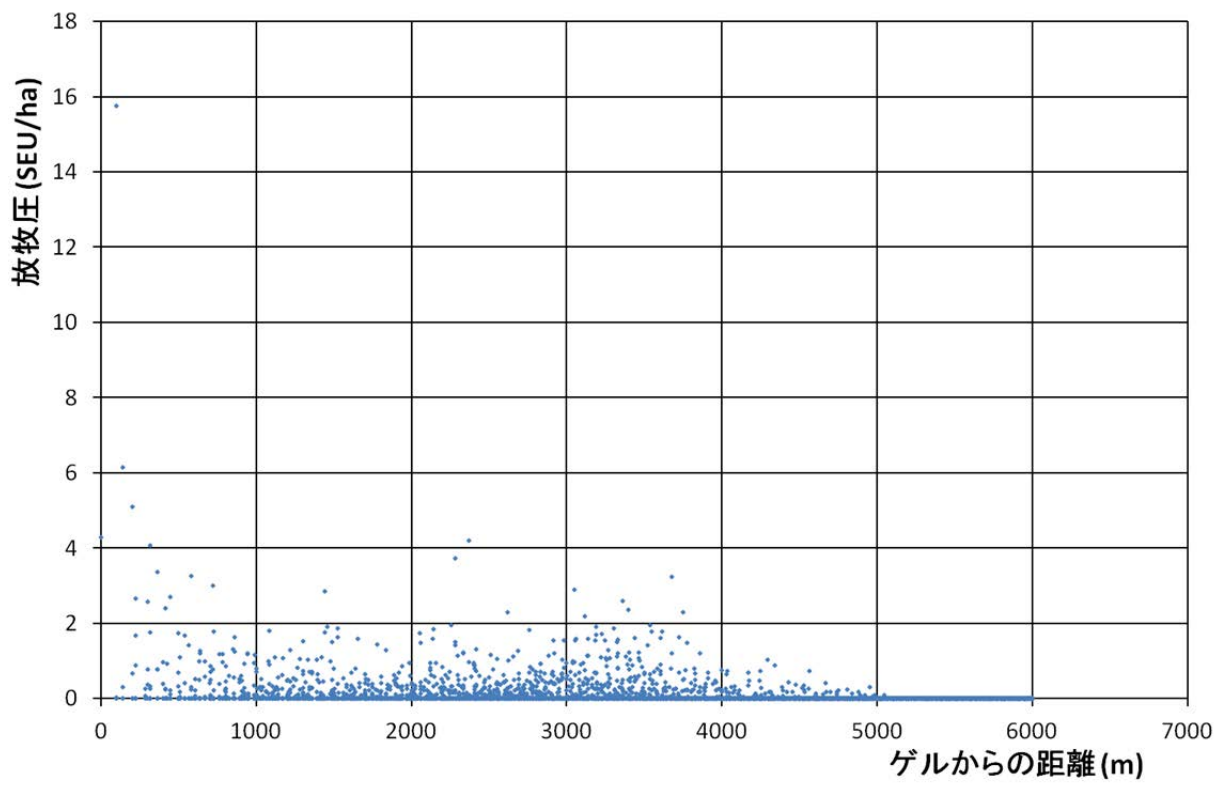


図 85 冬季ゲル 2 における放牧圧とゲルからの距離の散布図

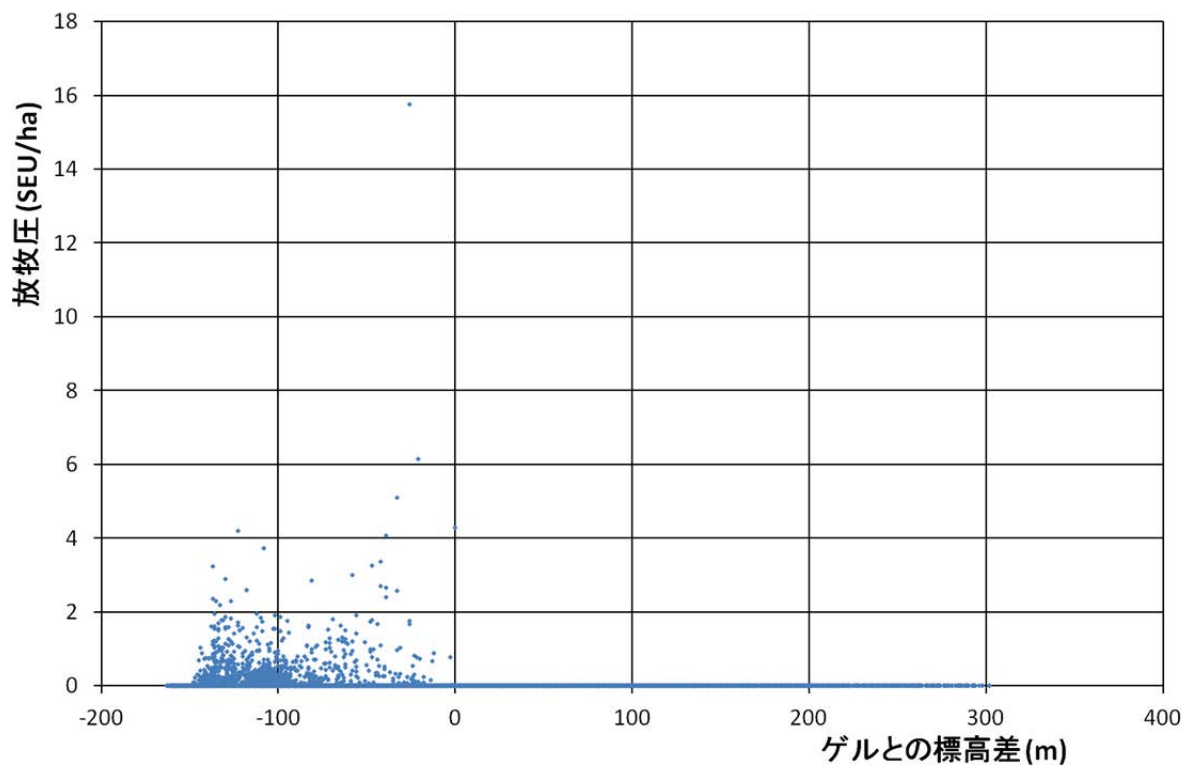


図 86 冬季ゲル 2 における放牧圧とゲルとの標高差の散布図

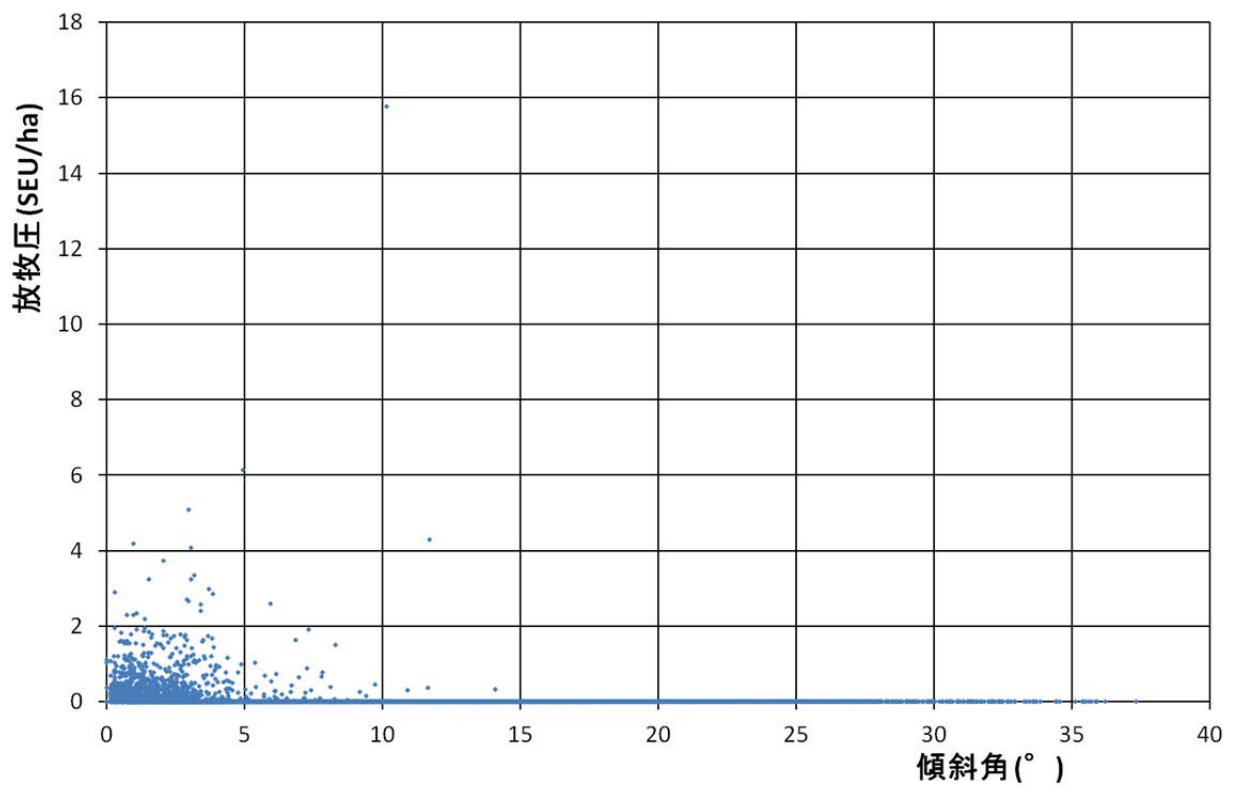


図 87 冬季ゲル 2 における放牧圧と傾斜角の散布図

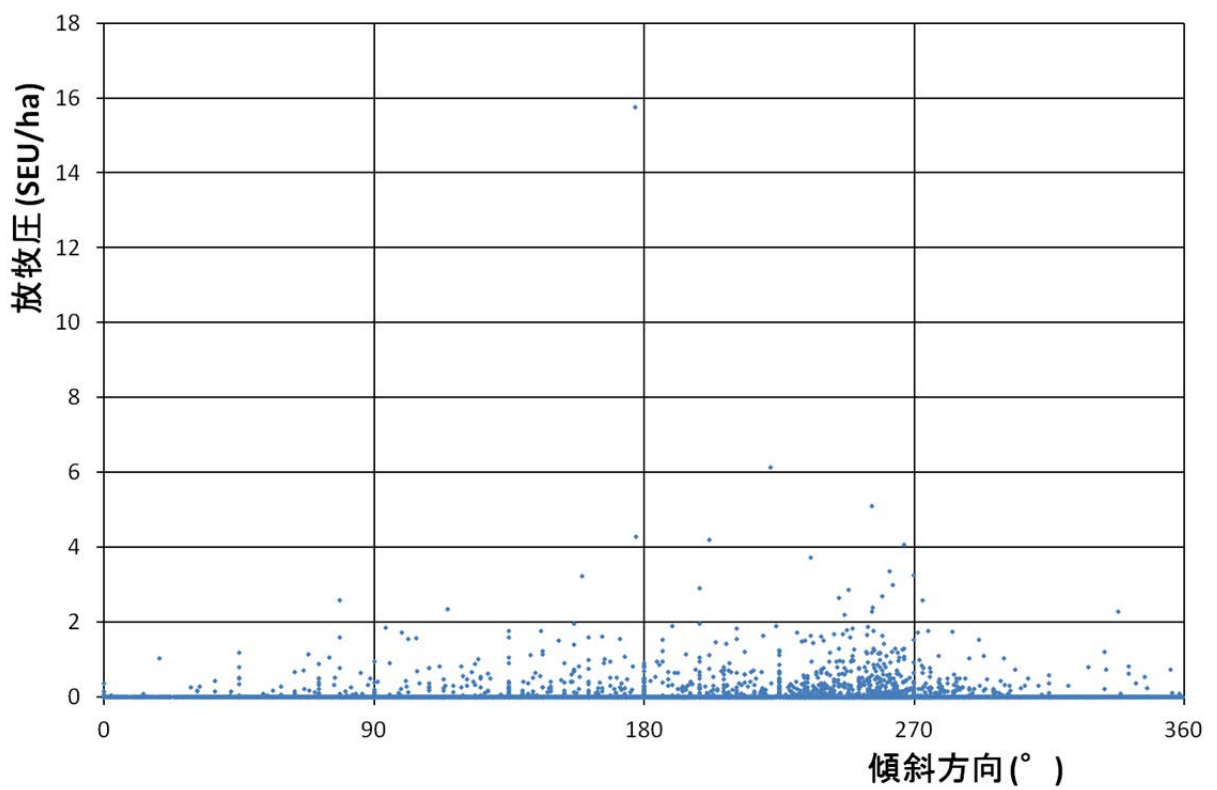


図 88 冬季ゲル 2 における放牧圧と傾斜方向の散布図

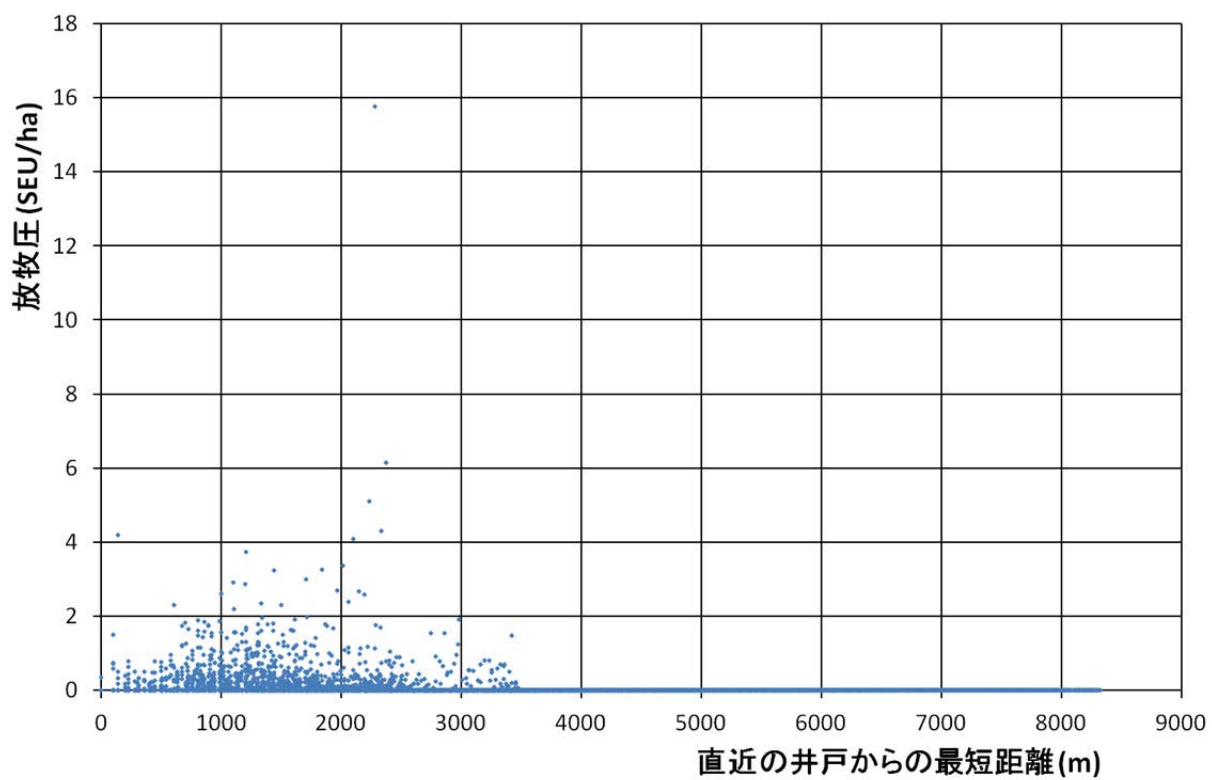


図 89 冬季ゲル 2 における放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

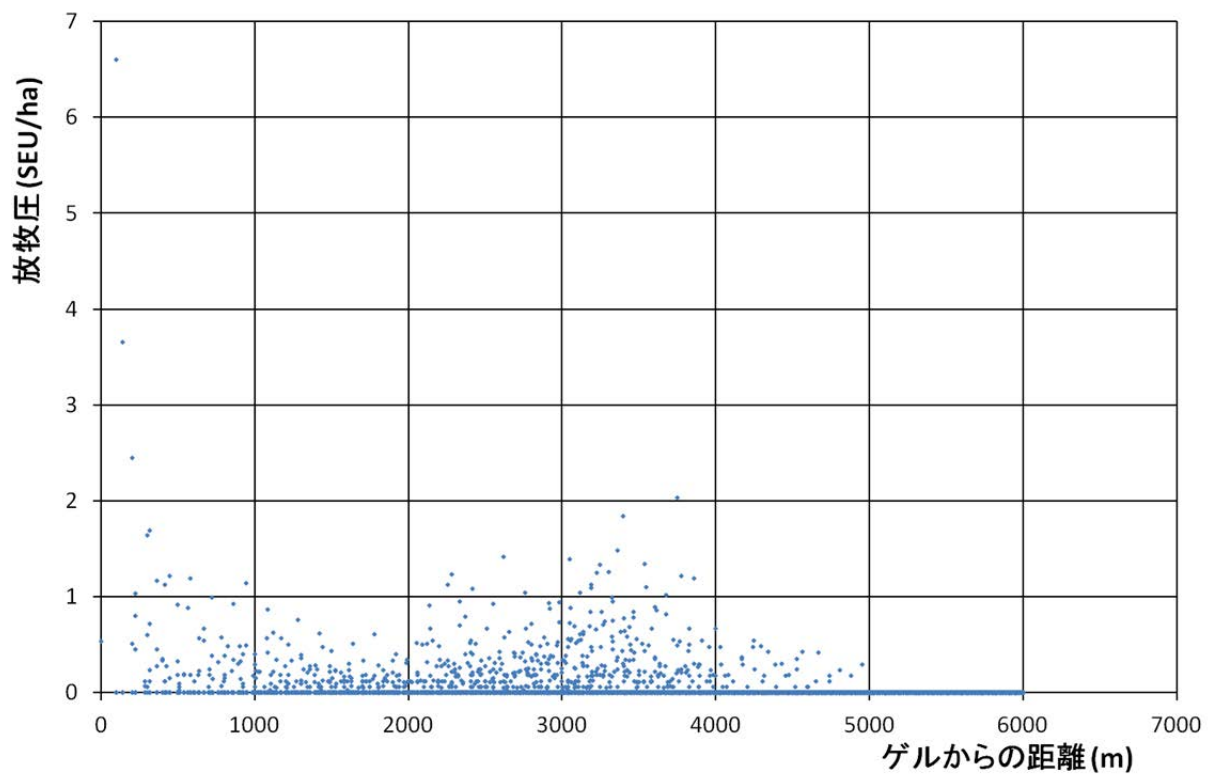


図 90 冬季ゲル 2 における羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図

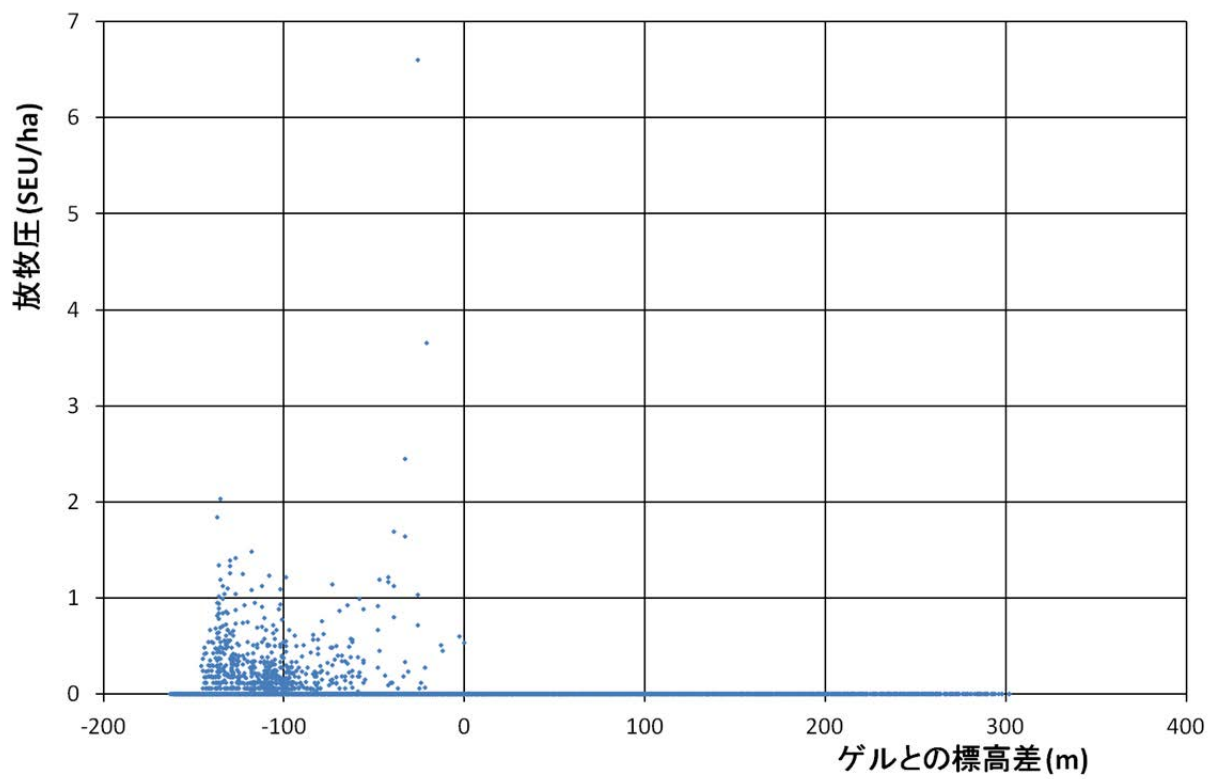


図 91 冬季ゲル 2 における羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図

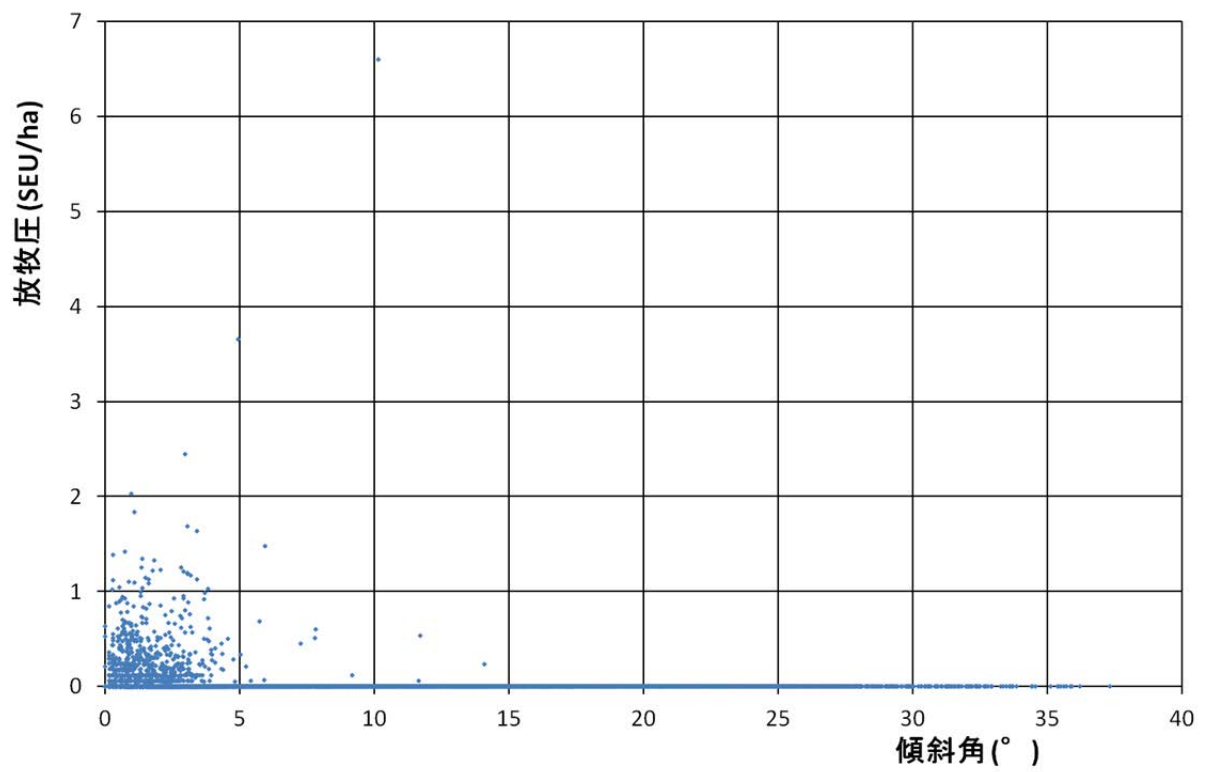


図 92 冬季ゲル 2 における羊の放牧圧と傾斜角の散布図

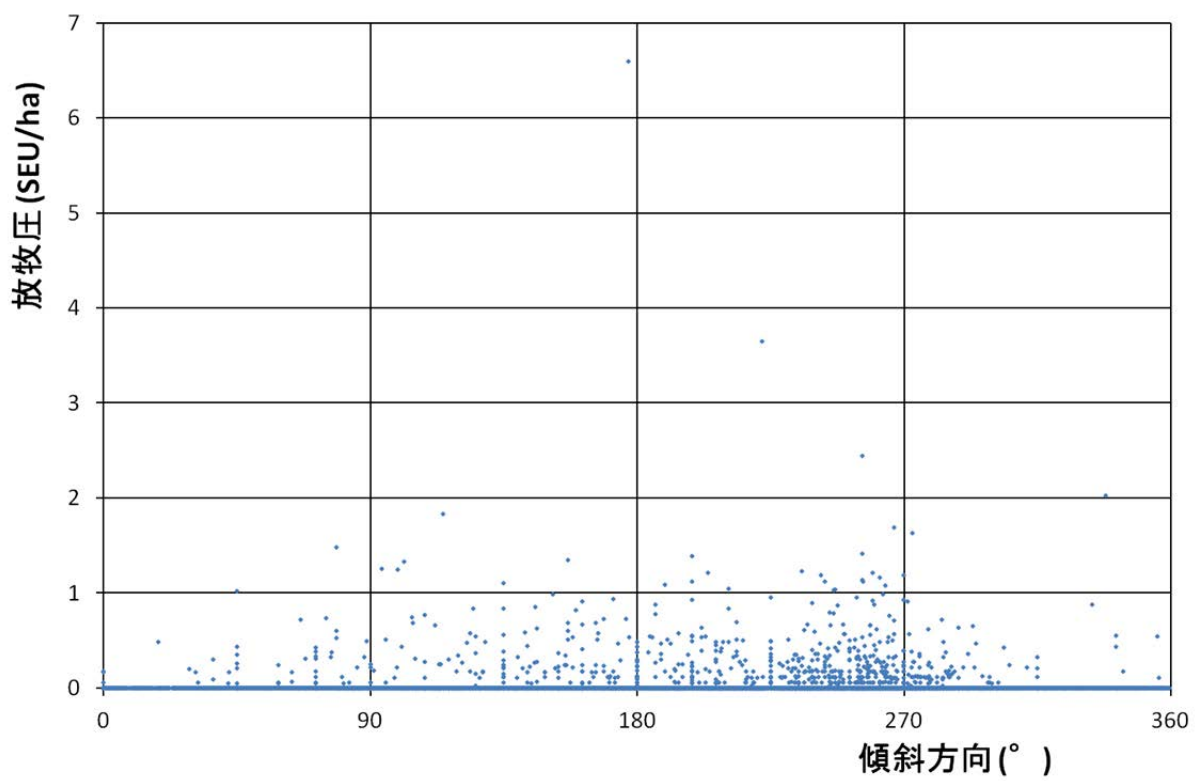


図 93 冬季ゲル 2 における羊の放牧圧と傾斜方向の散布図

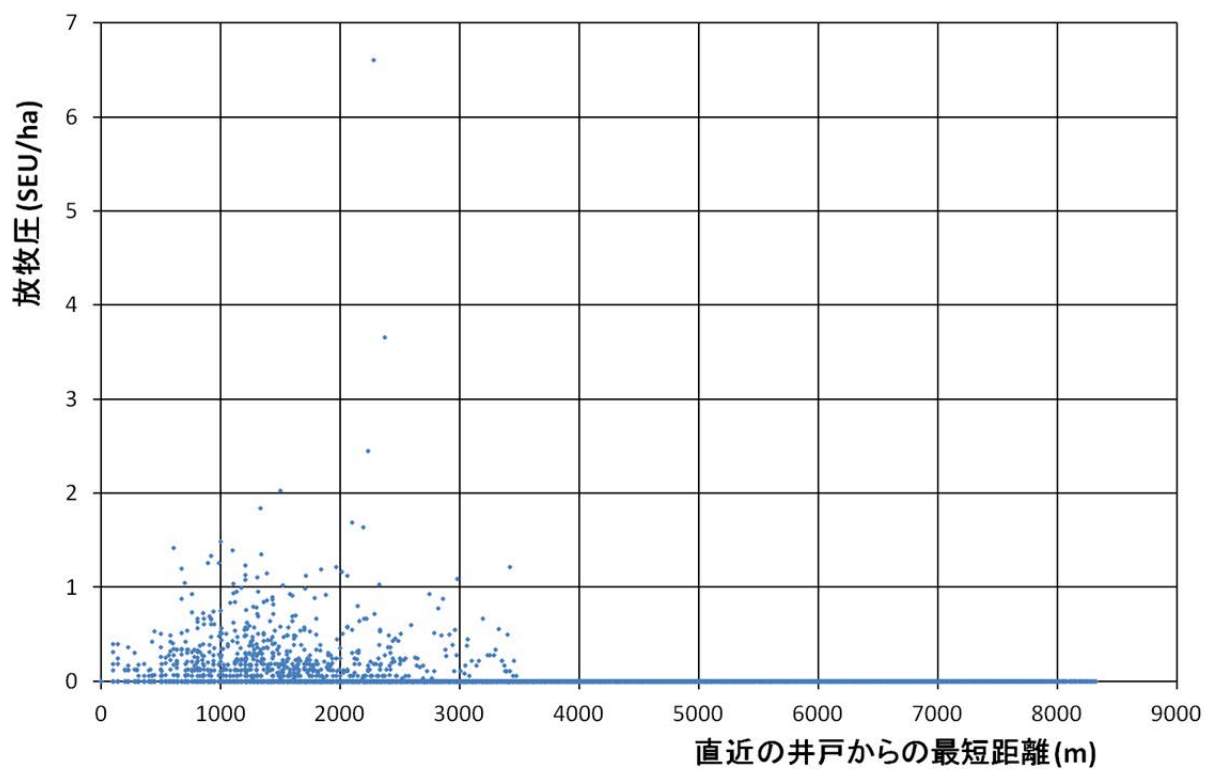


図 94 冬季ゲル 2 における羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

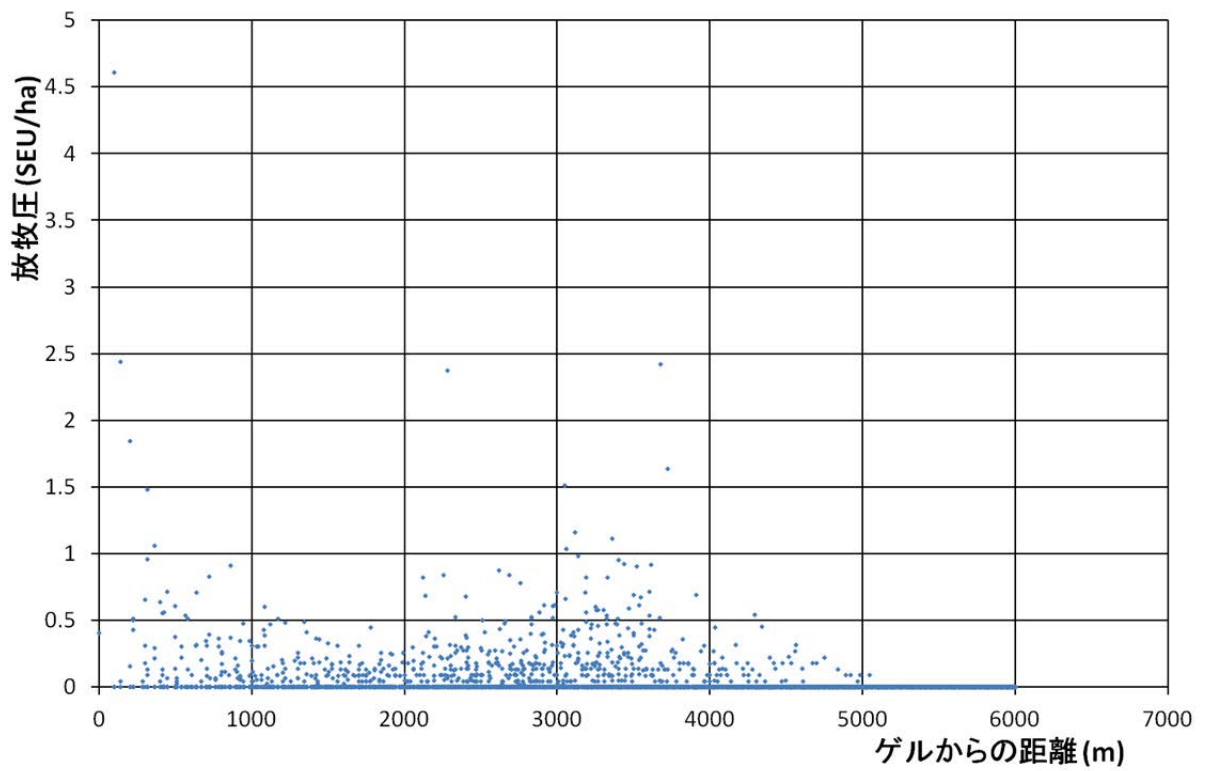


図 95 冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図

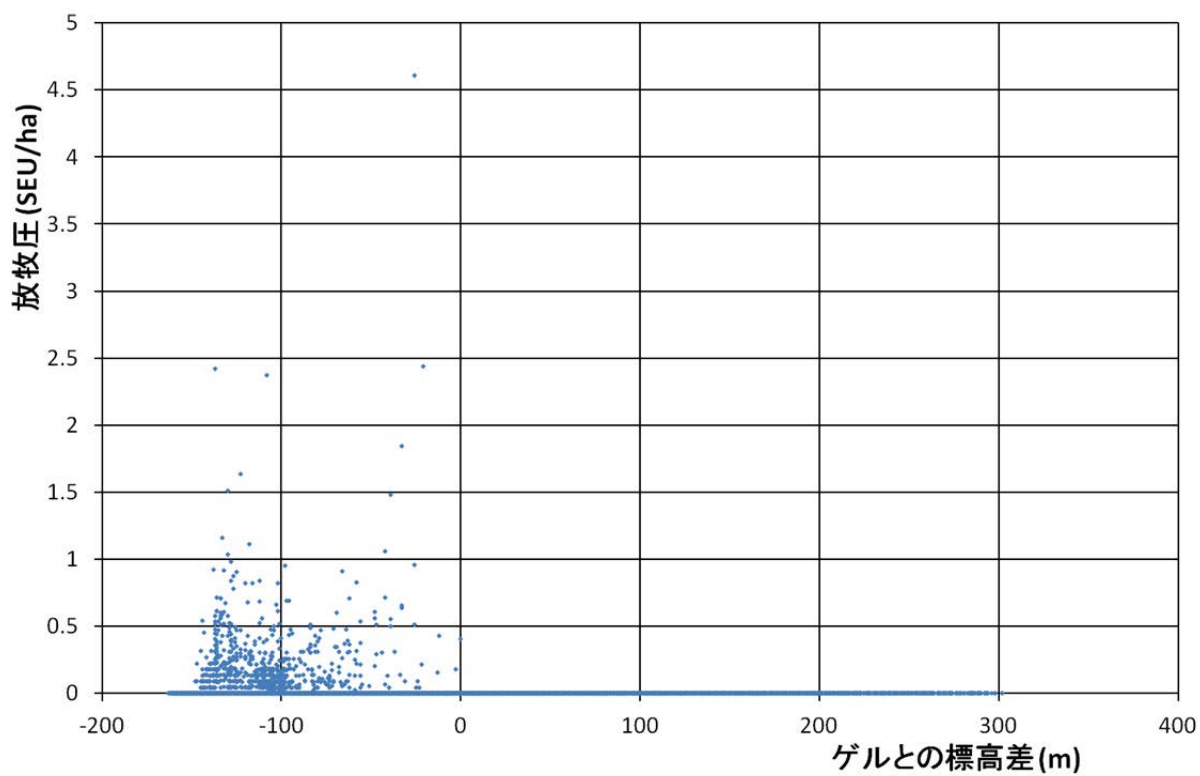


図 96 冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図

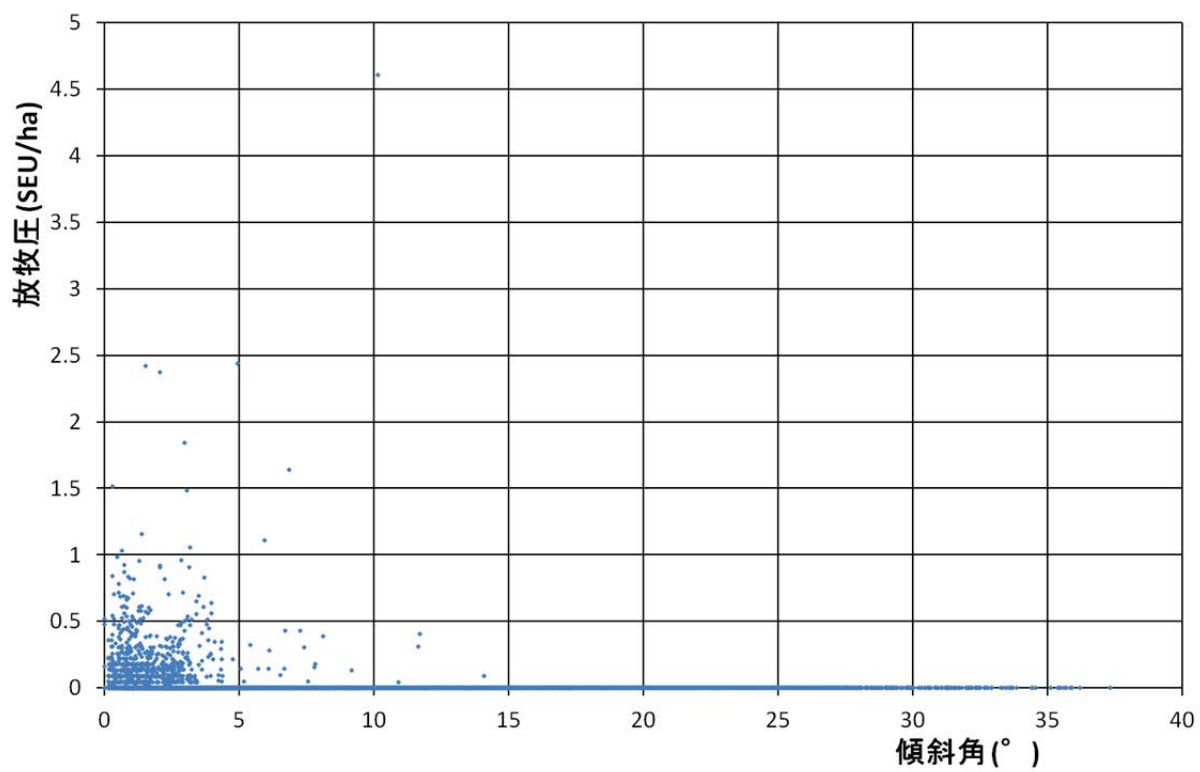


図 97 冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧と傾斜角の散布図

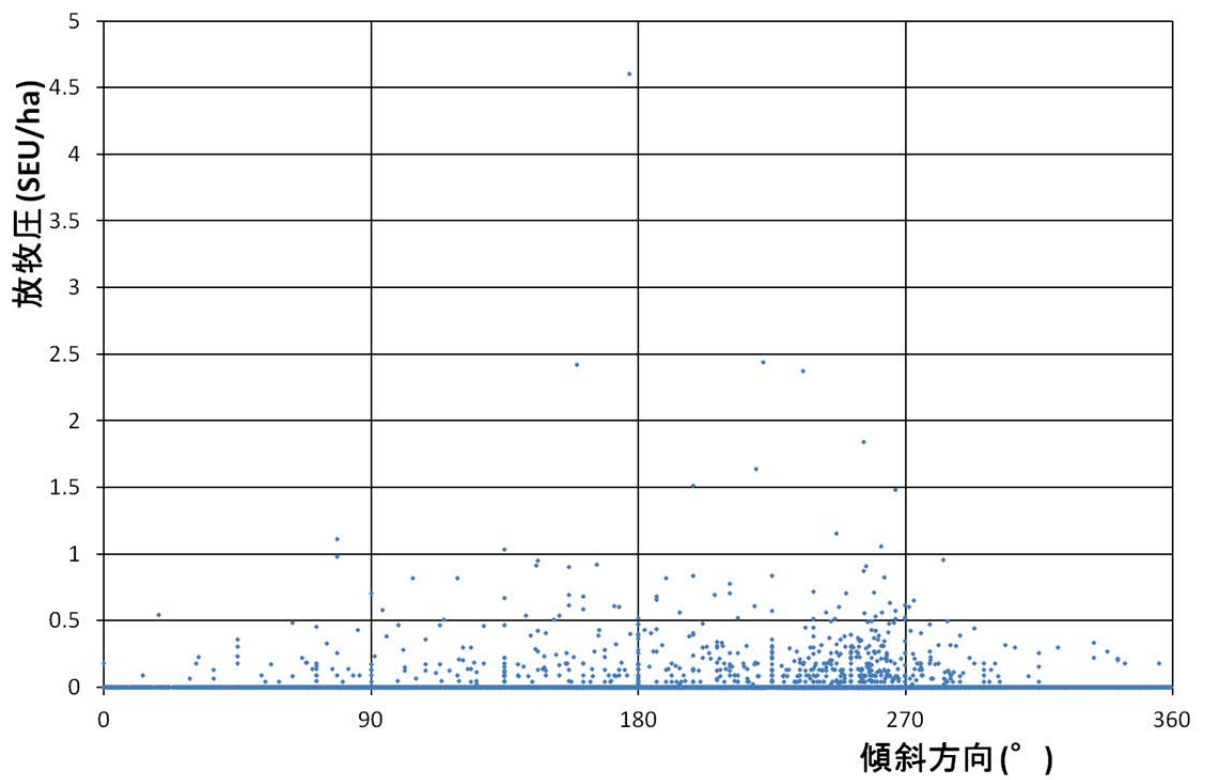


図 98 冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧と傾斜方向の散布図

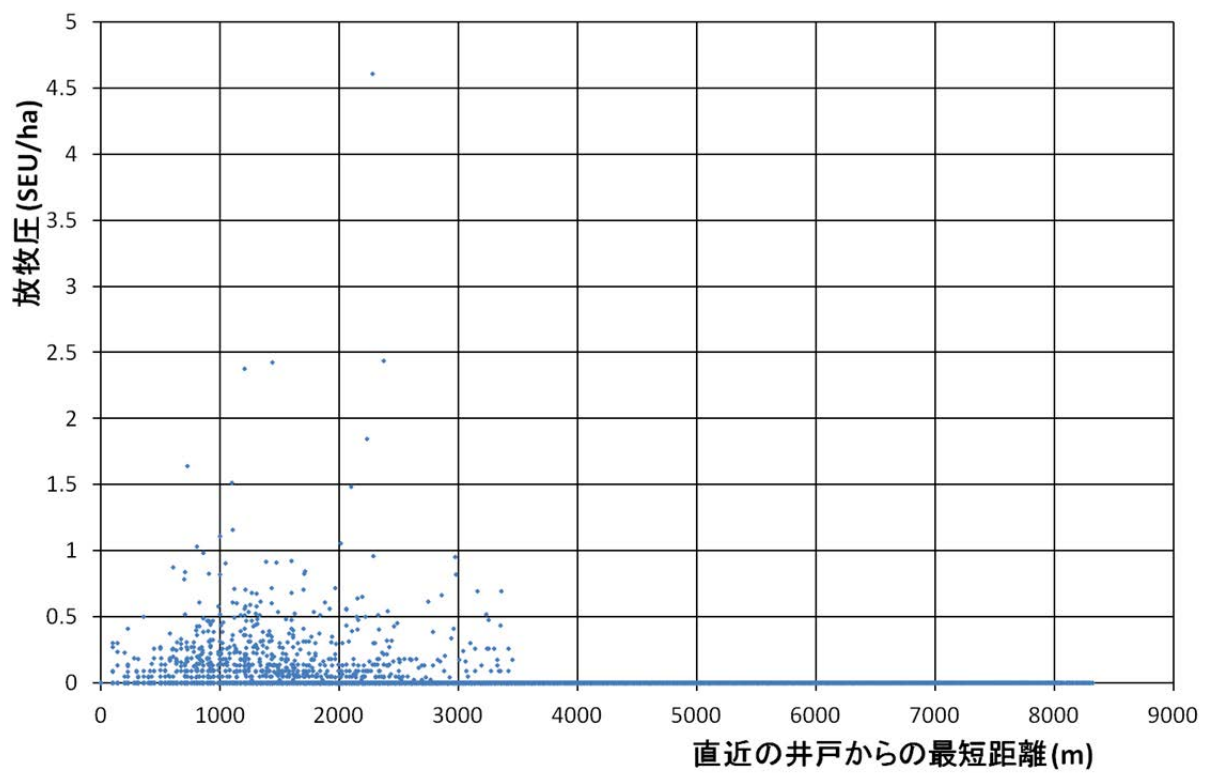


図 99 冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

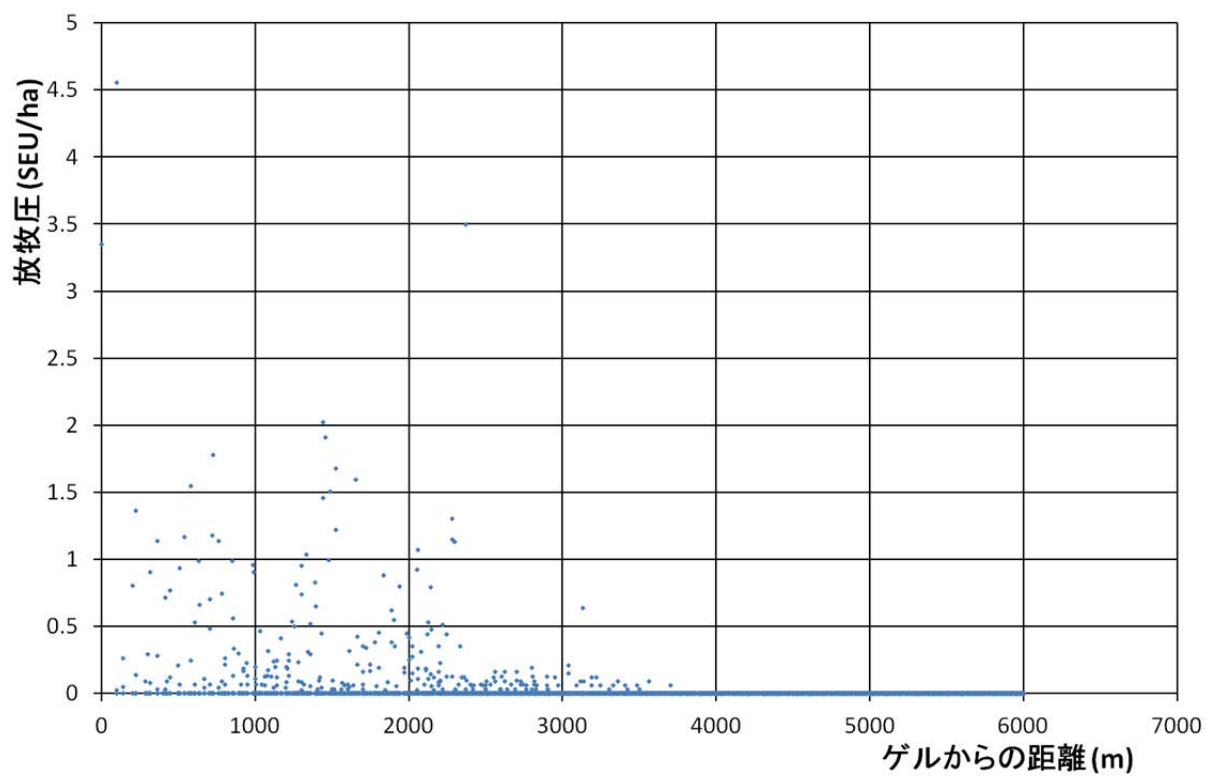


図 100 冬季ゲル 2 における牛の放牧圧とゲルからの距離の散布図

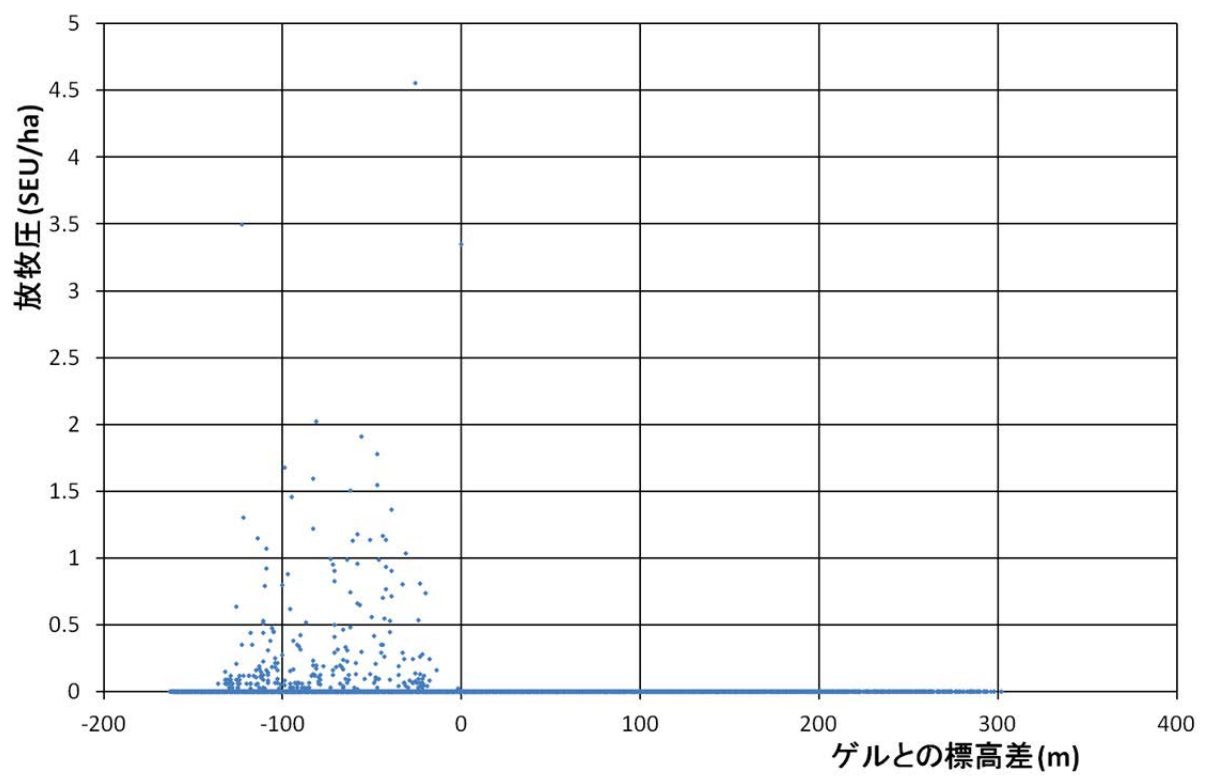


図 101 冬季ゲル 2 における牛の放牧圧とゲルとの標高差の散布図

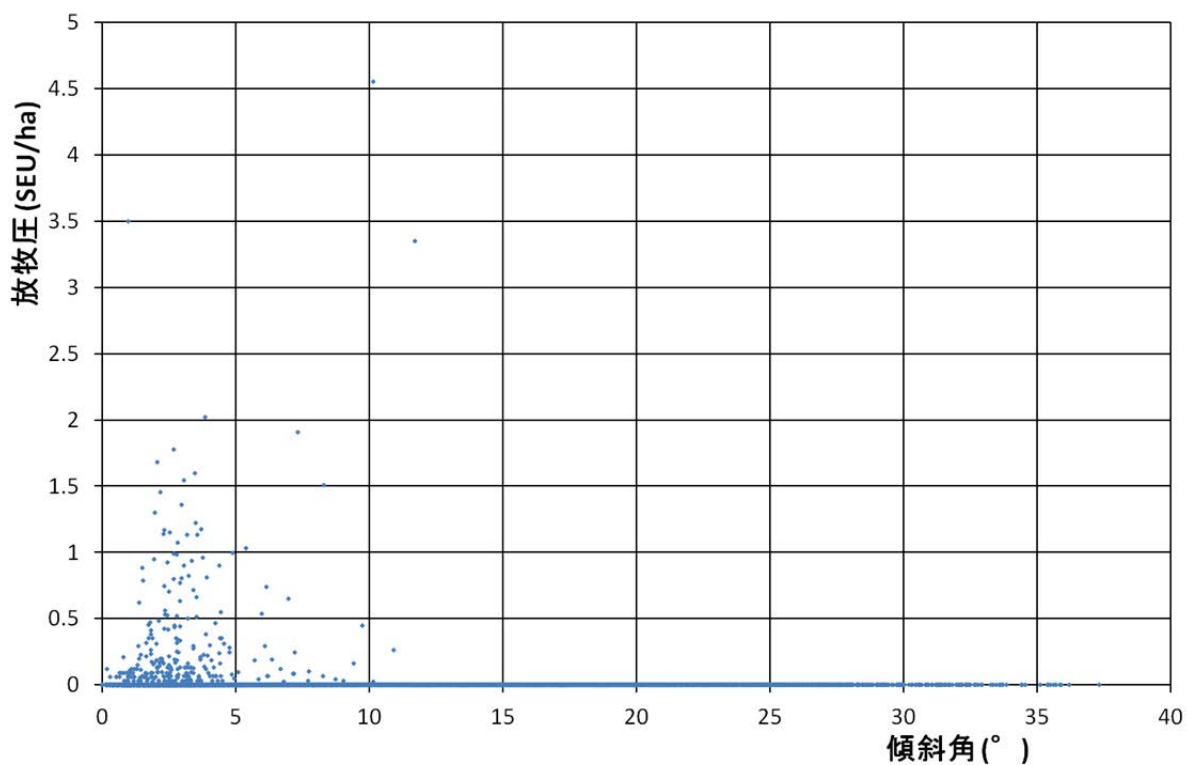


図 102 冬季ゲル 2 における牛の放牧圧と傾斜角の散布図

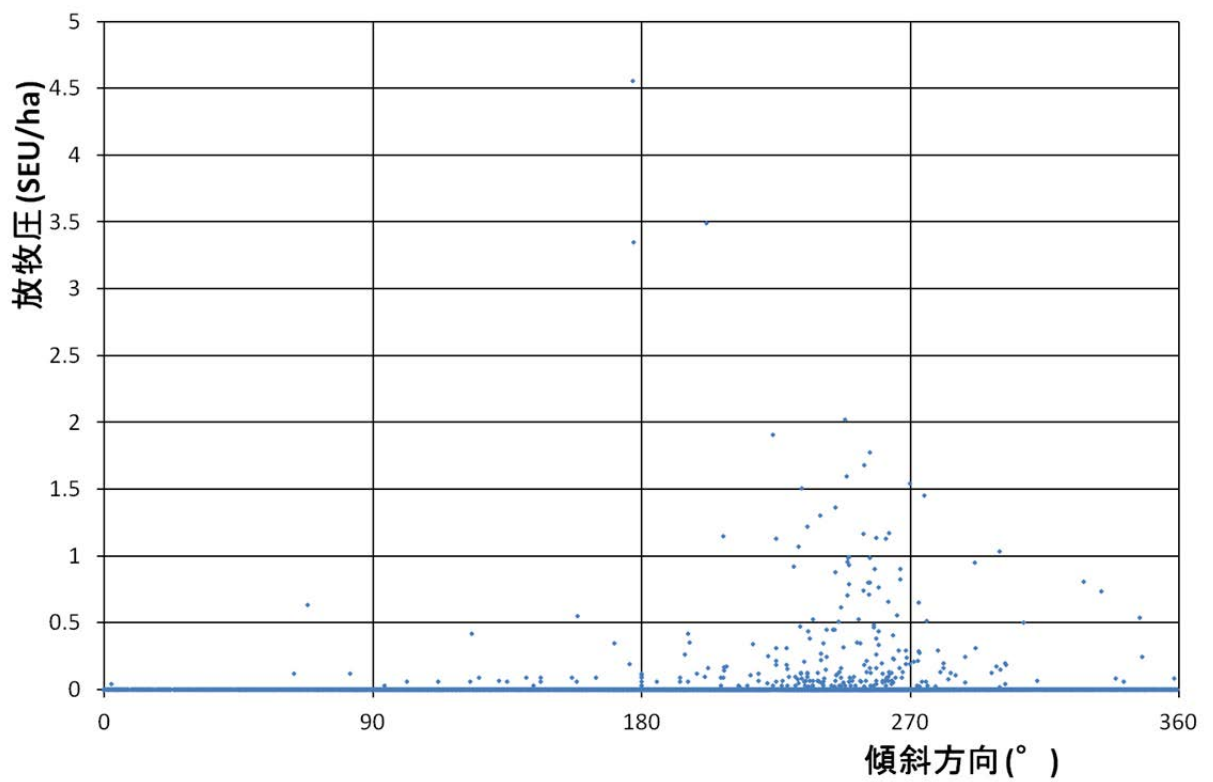


図 103 冬季ゲル 2 における牛の放牧圧と傾斜方向の散布図

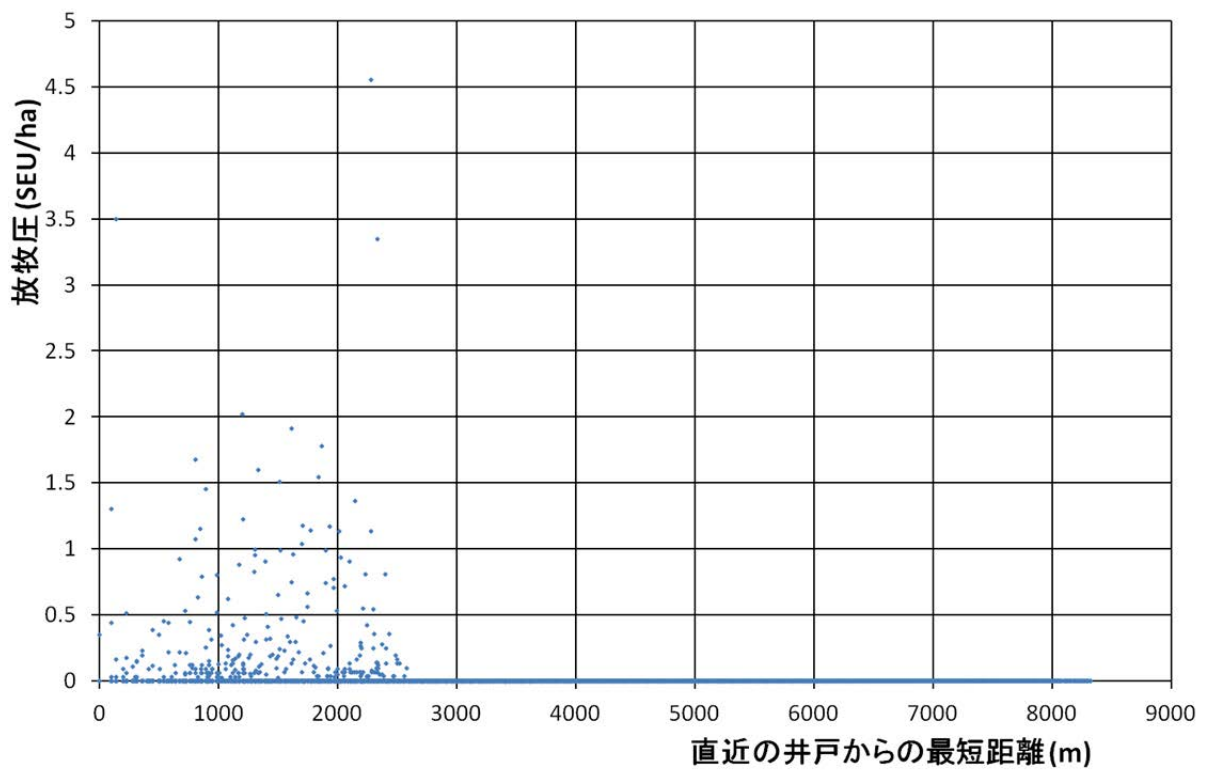


図 104 冬季ゲル 2 における牛の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

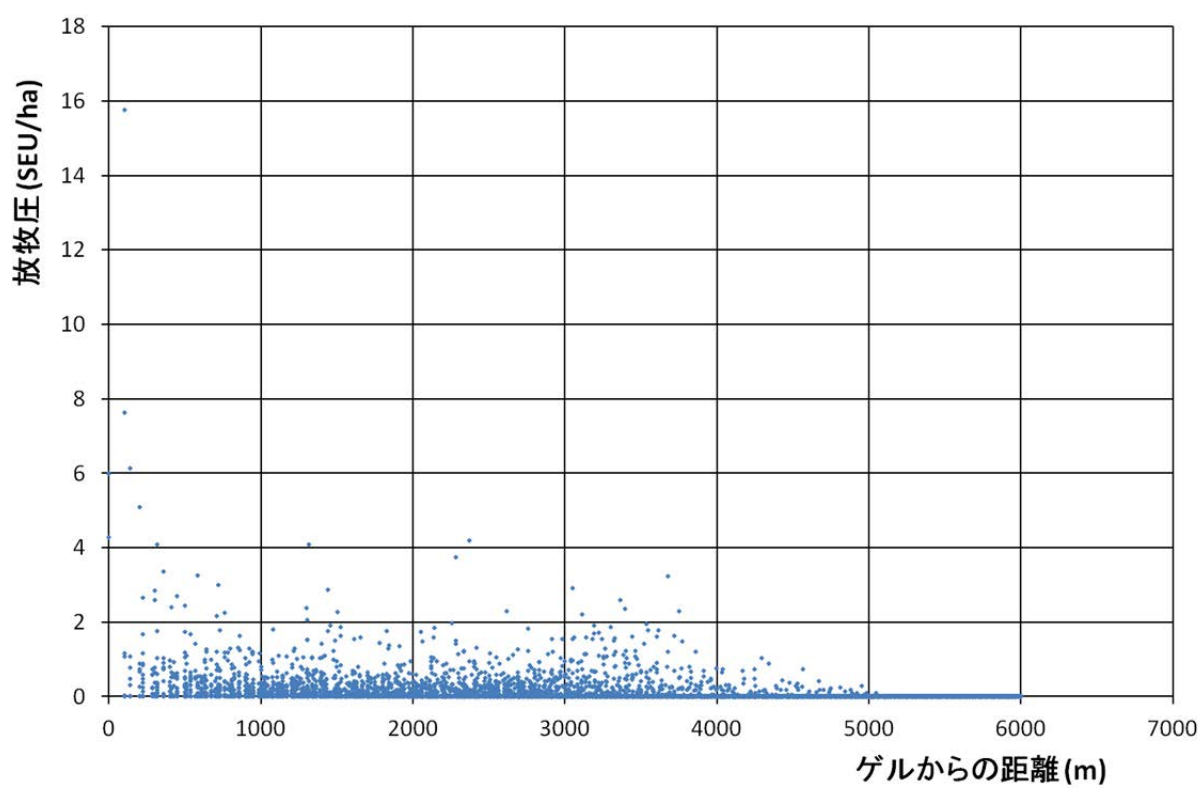


図 105 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧とゲルからの距離の散布図

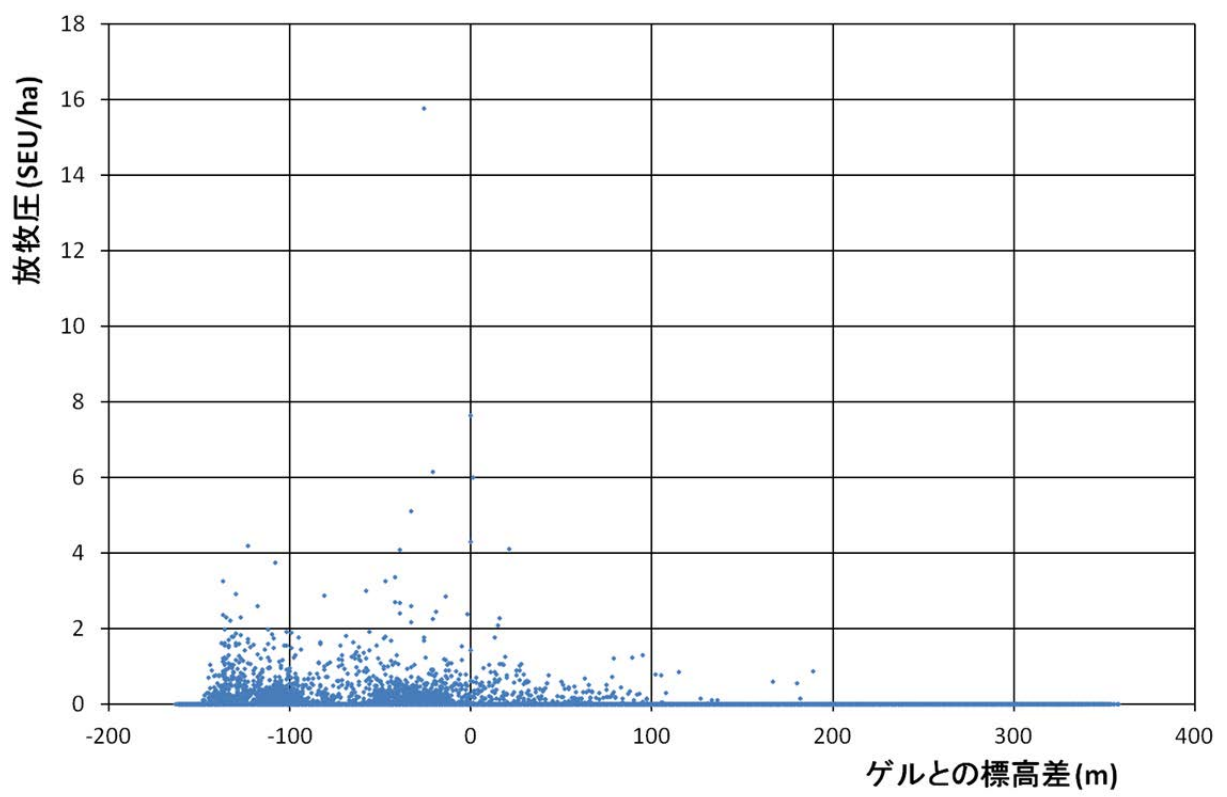


図 106 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧とゲルとの標高差の散布図

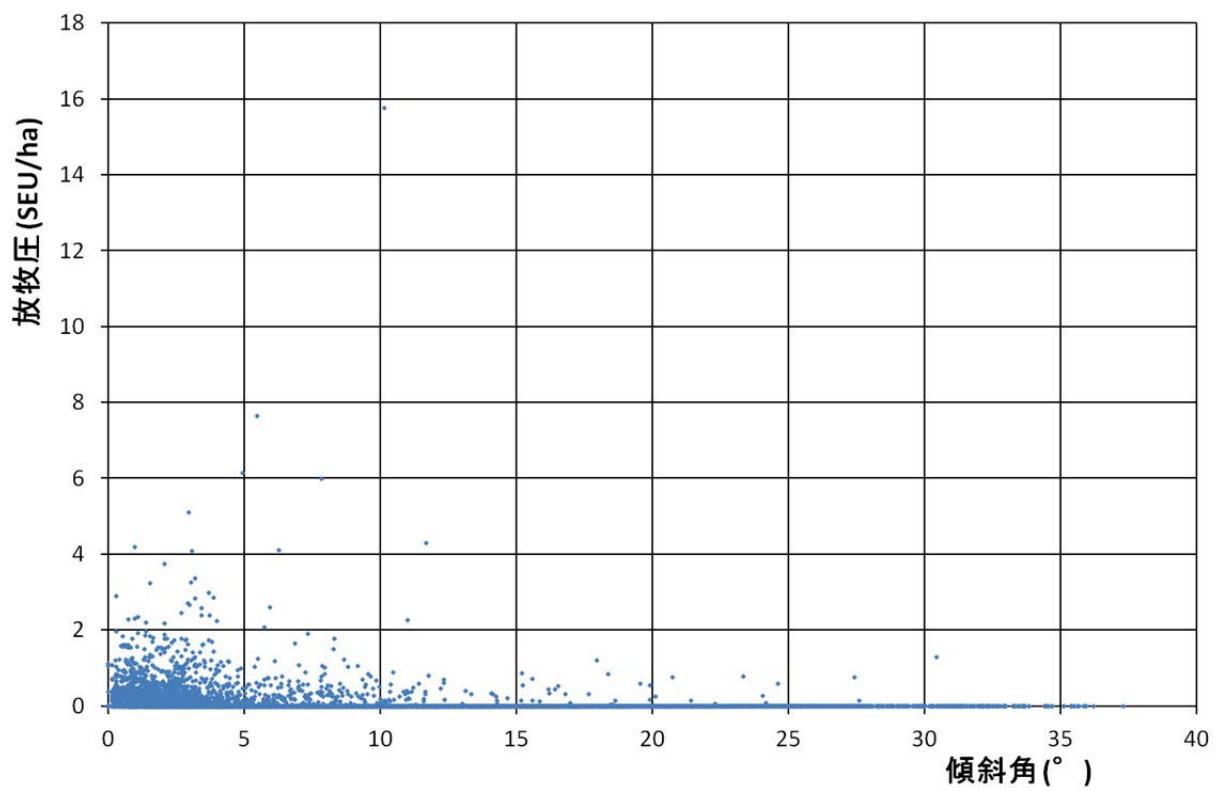


図 107 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧と傾斜角の散布図

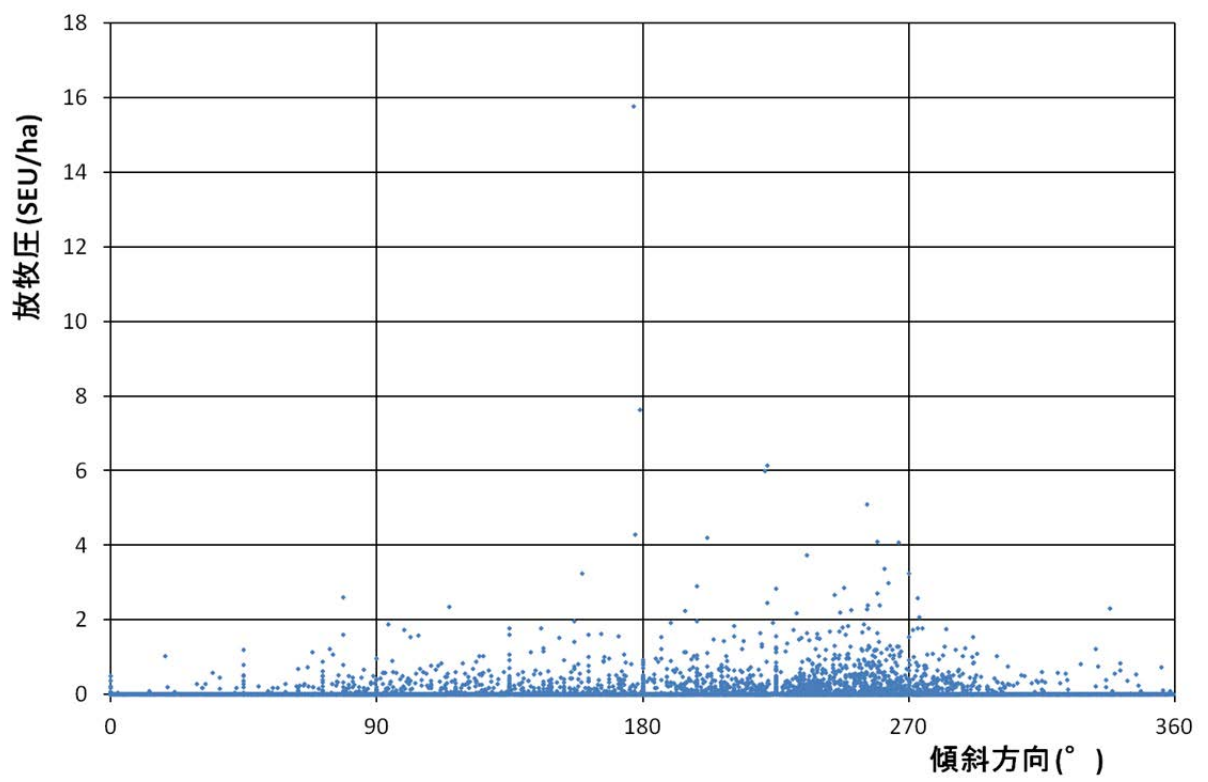


図 108 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧と傾斜方向の散布図

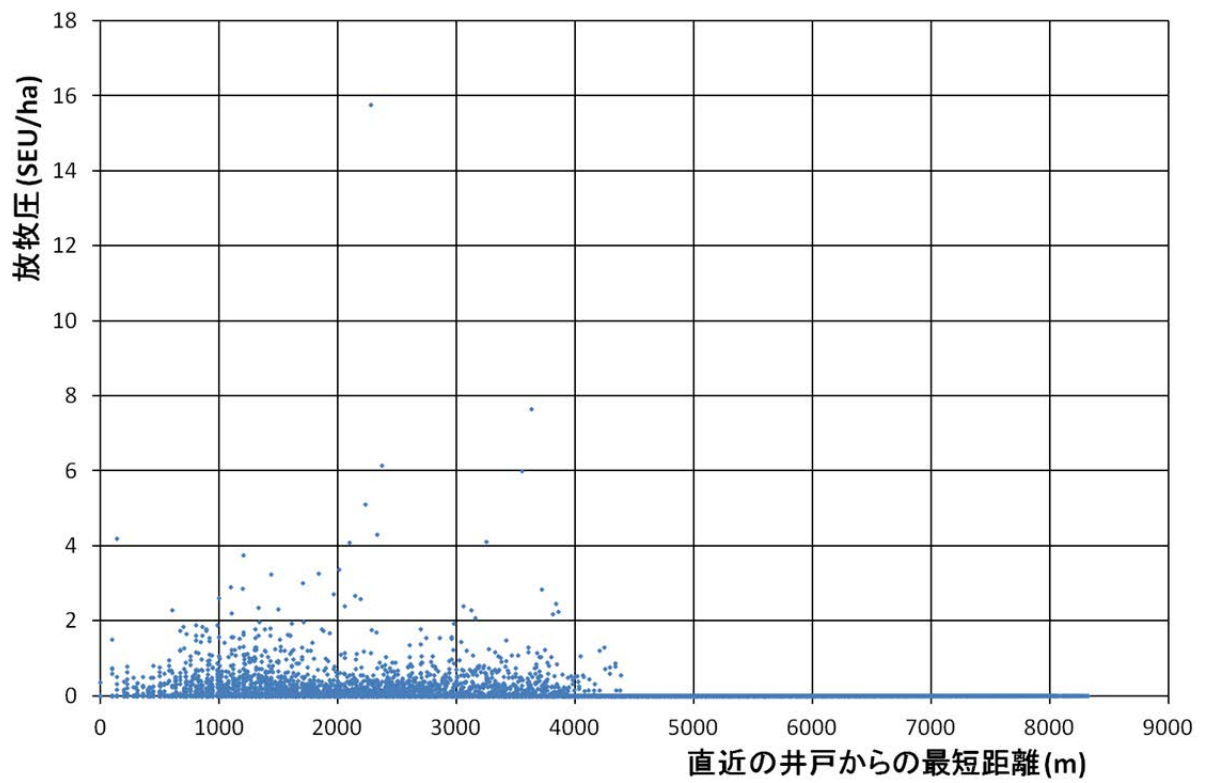


図 109 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

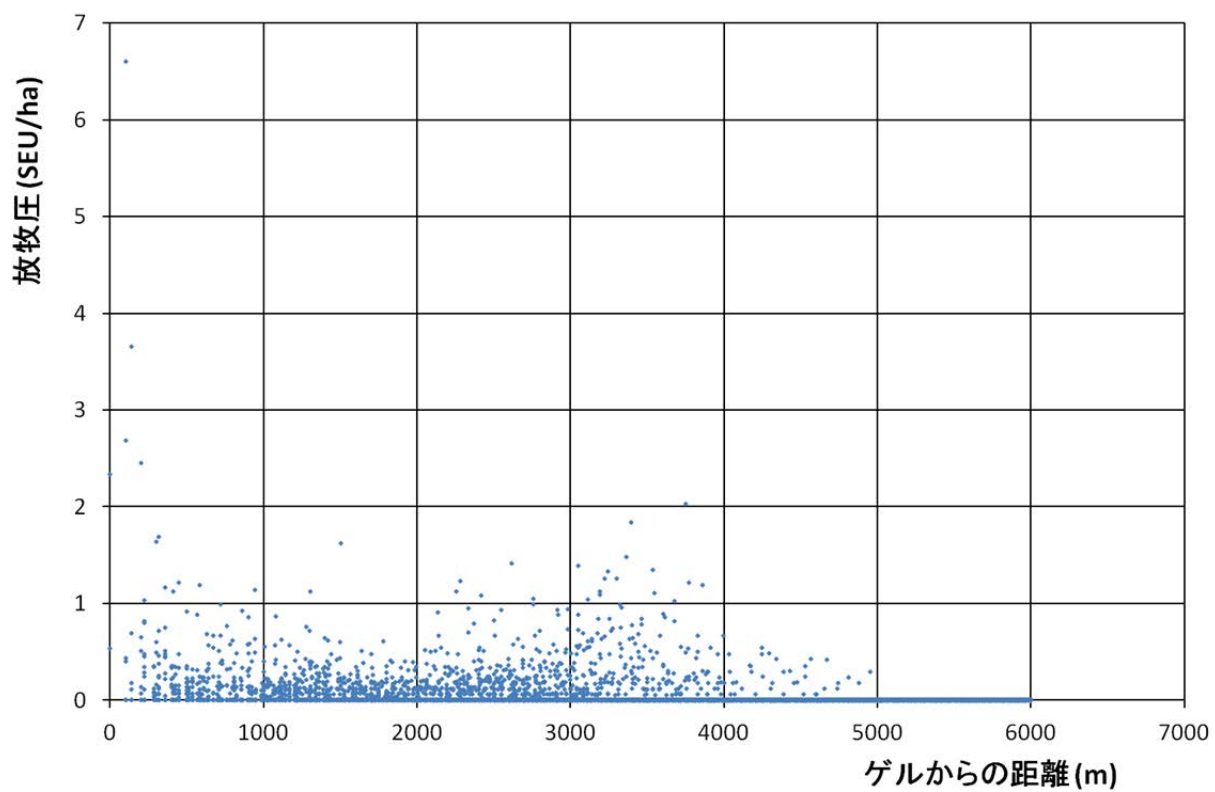


図 110 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図

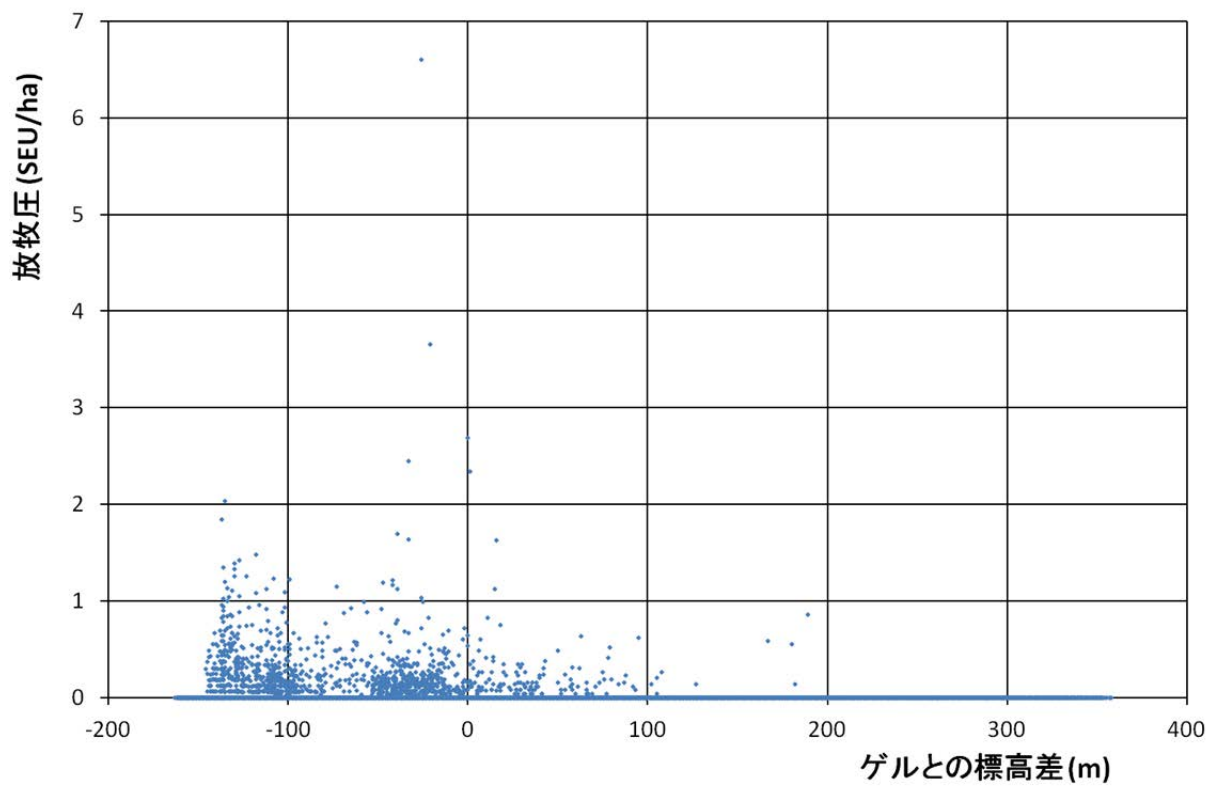


図 111 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図

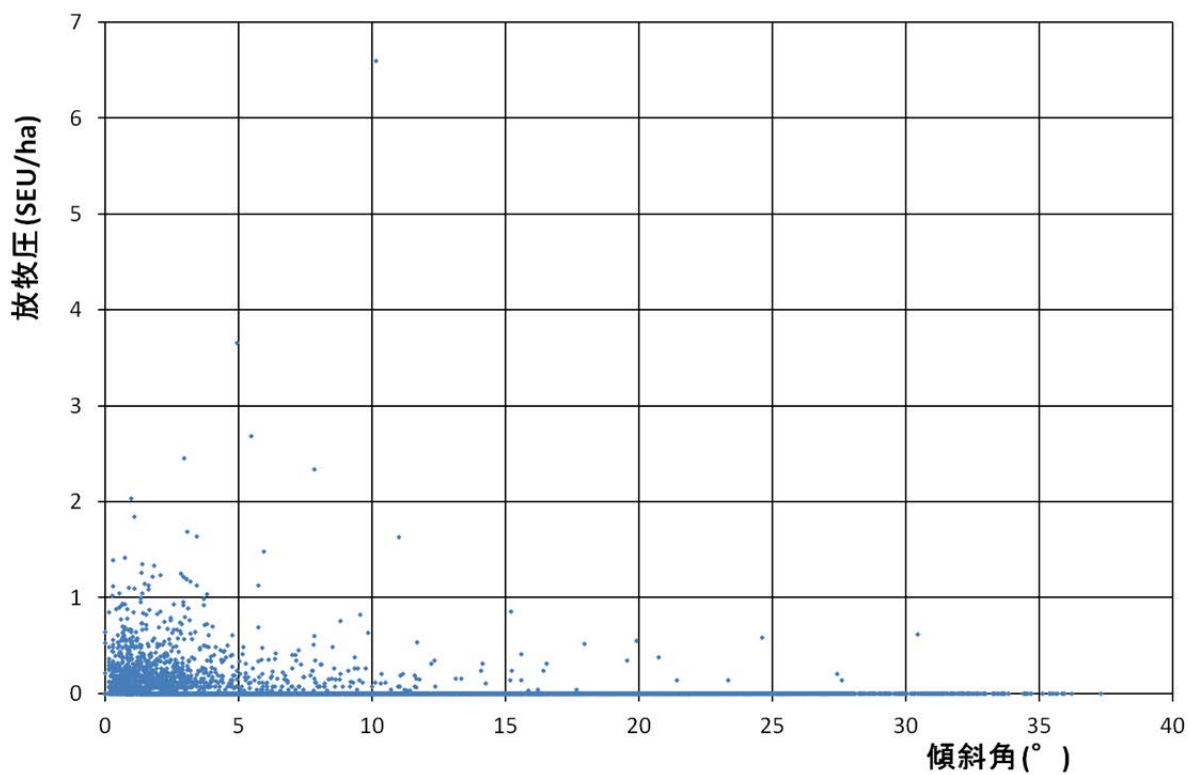


図 112 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における羊の放牧圧と傾斜角の散布図

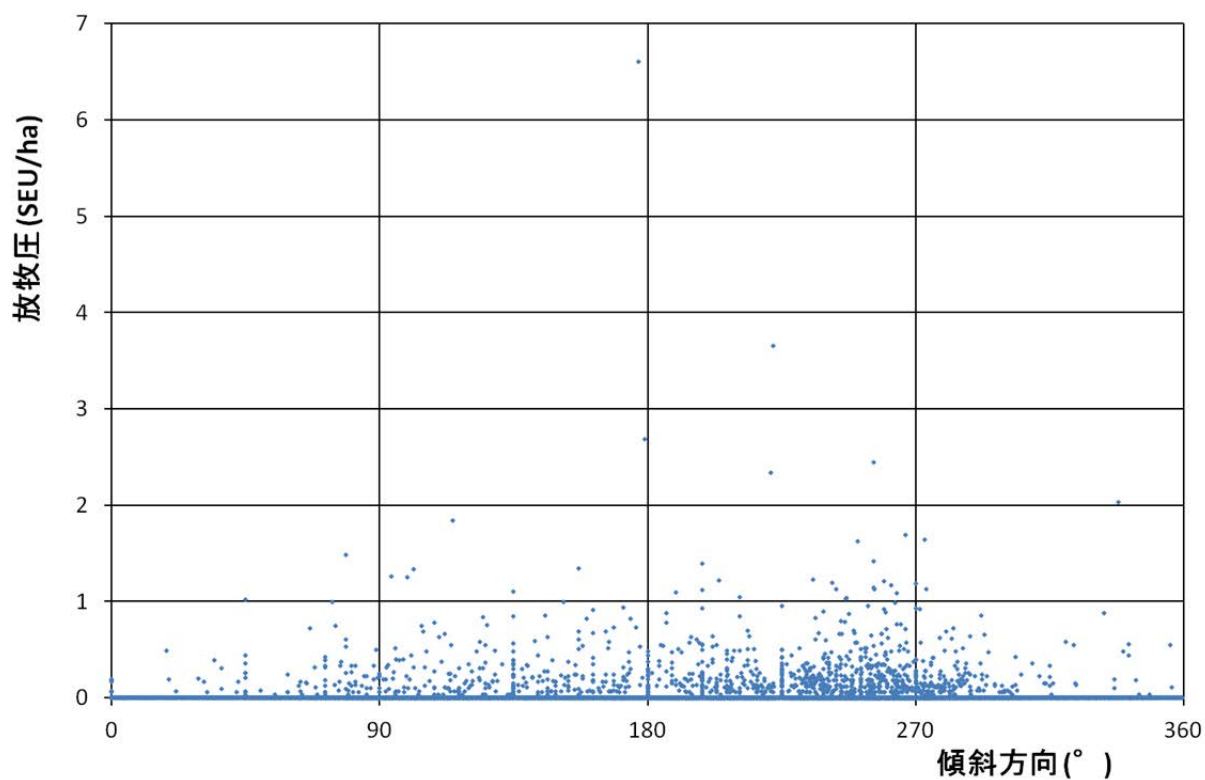


図 113 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における羊の放牧圧と傾斜方向の散布図

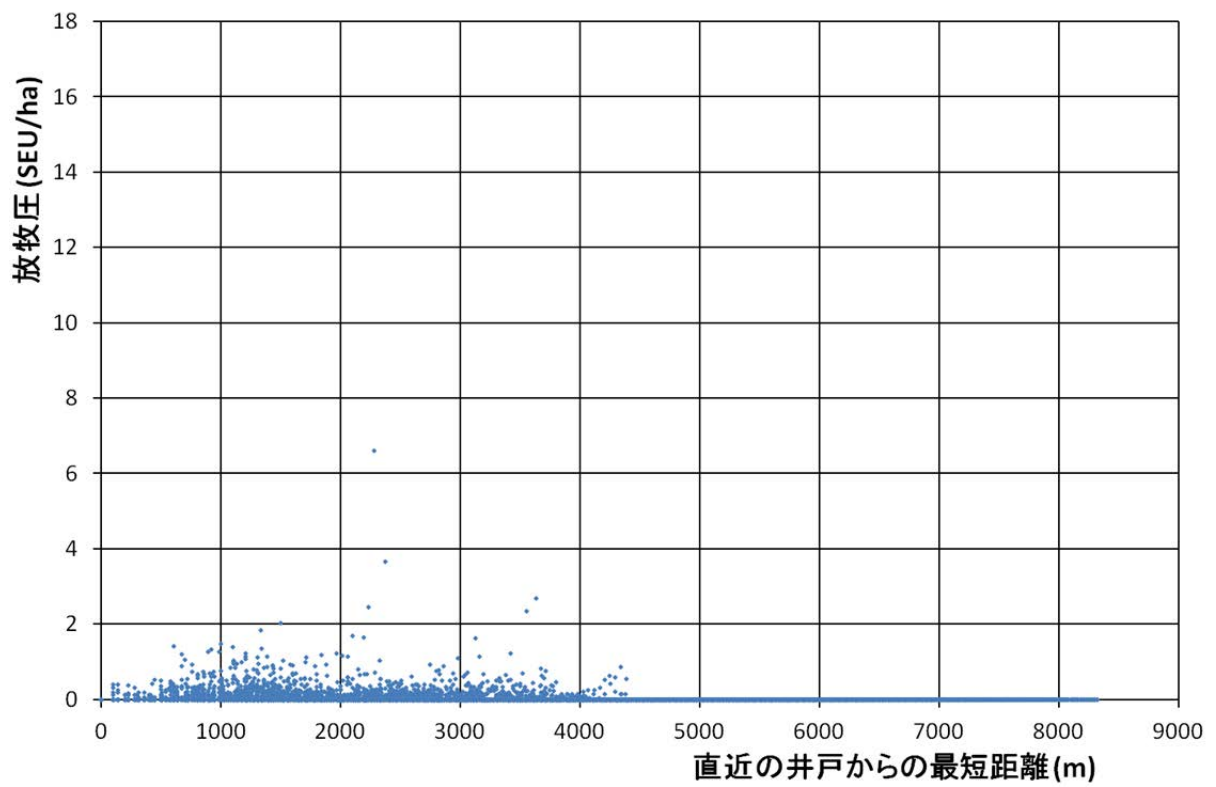


図 114 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

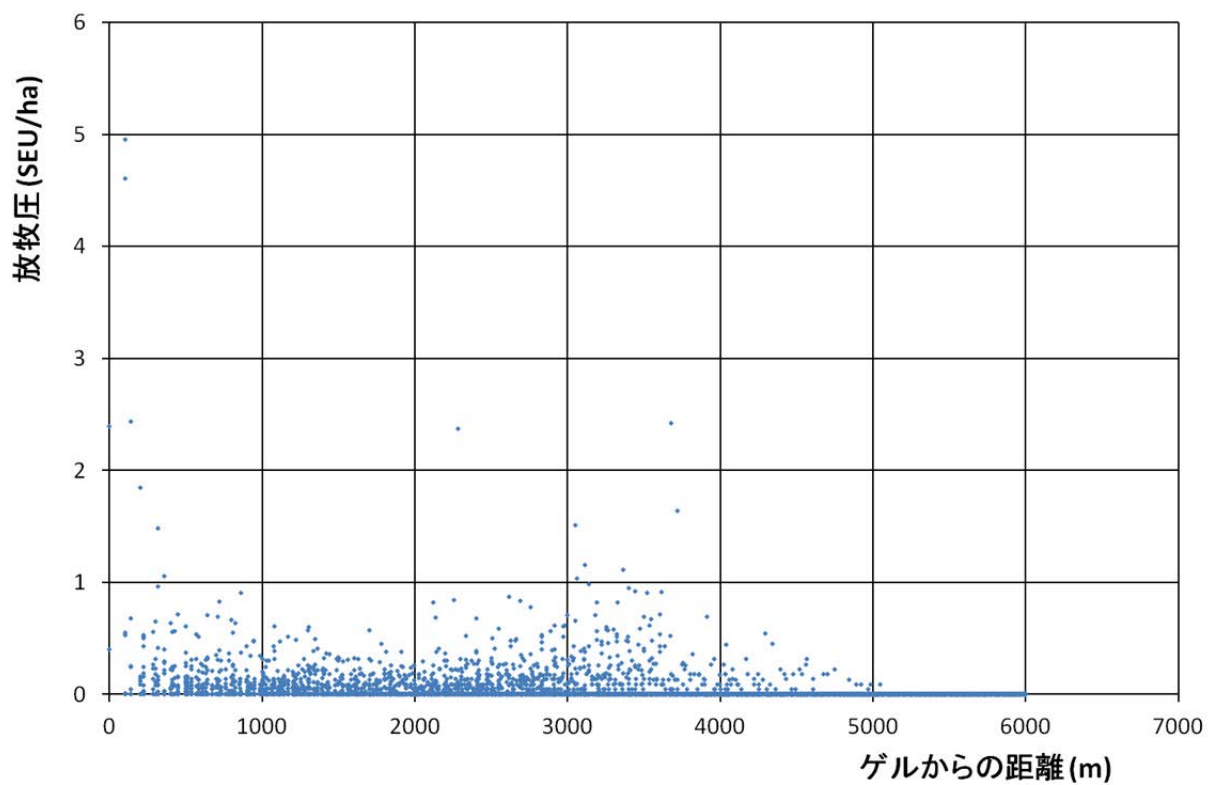


図 115 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧とゲルからの距離の散布図

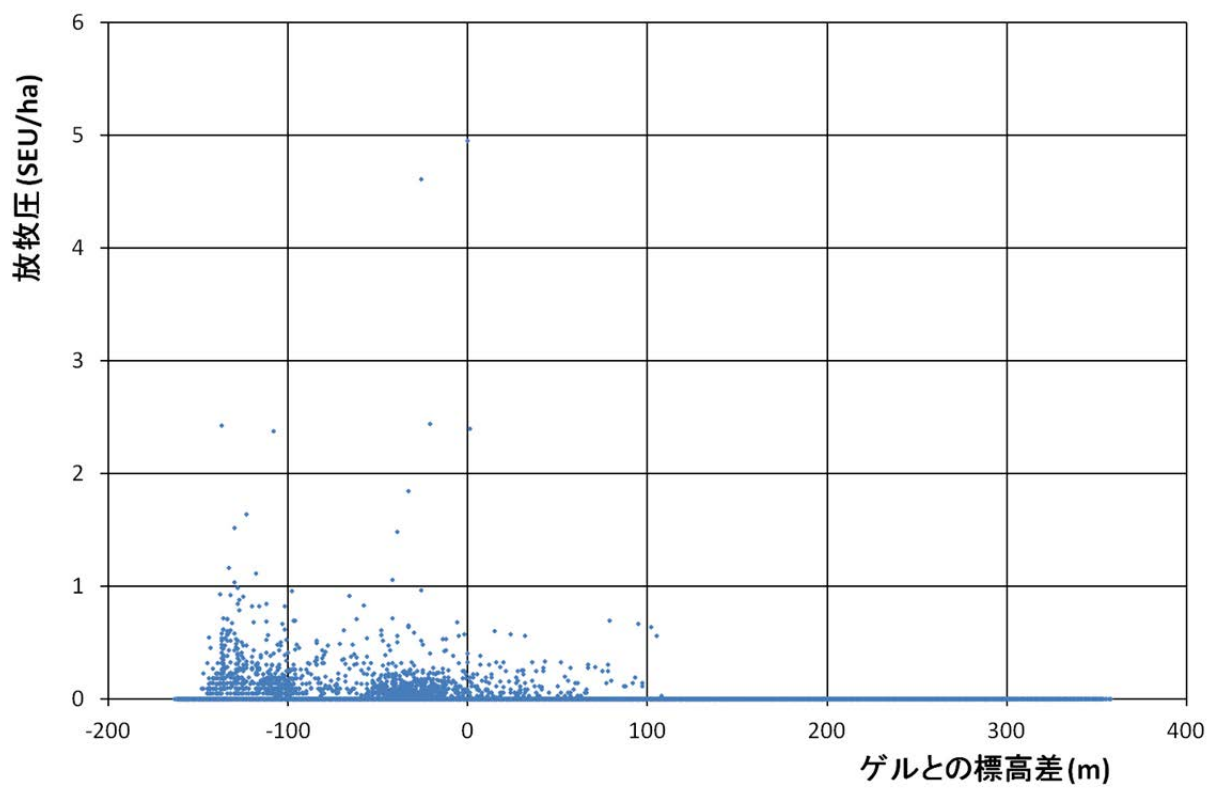


図 116 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧とゲルとの標高差の散布図

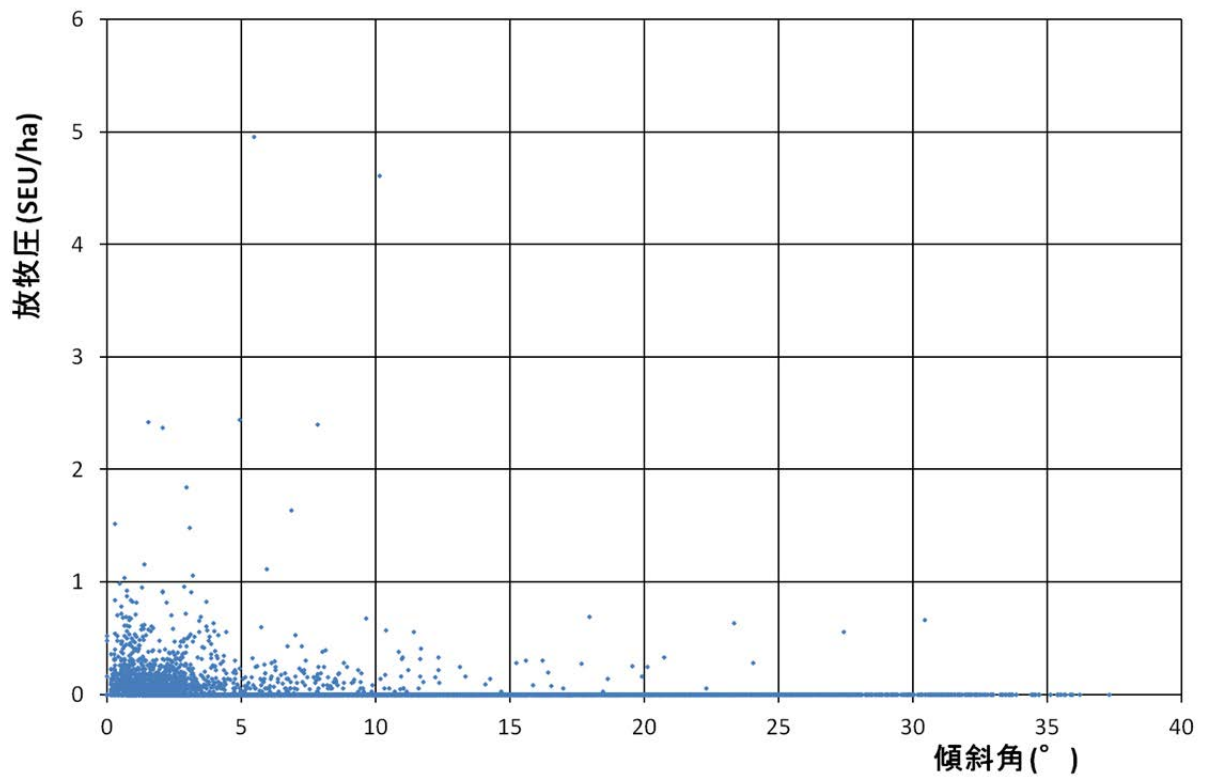


図 117 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧と傾斜角の散布図

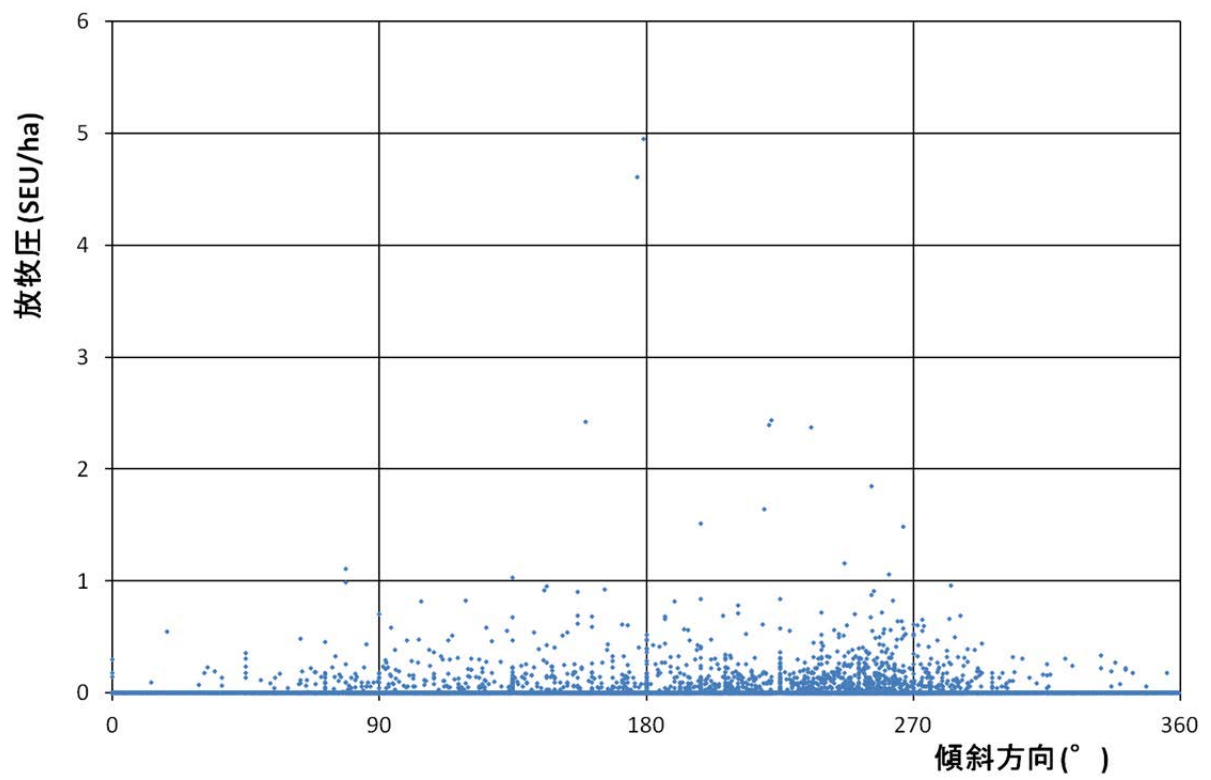


図 118 冬季ゲル1・冬季ゲル2における山羊の放牧圧と傾斜方向の散布図

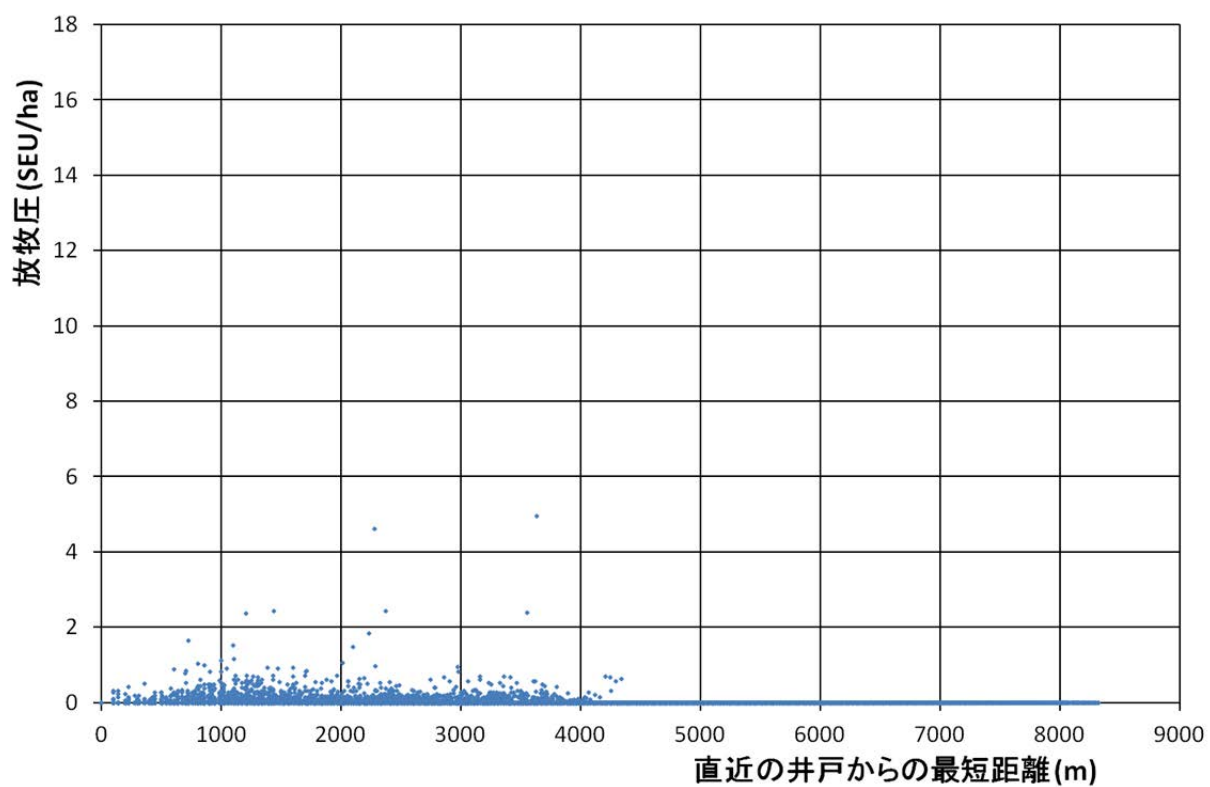


図 119 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における山羊の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図

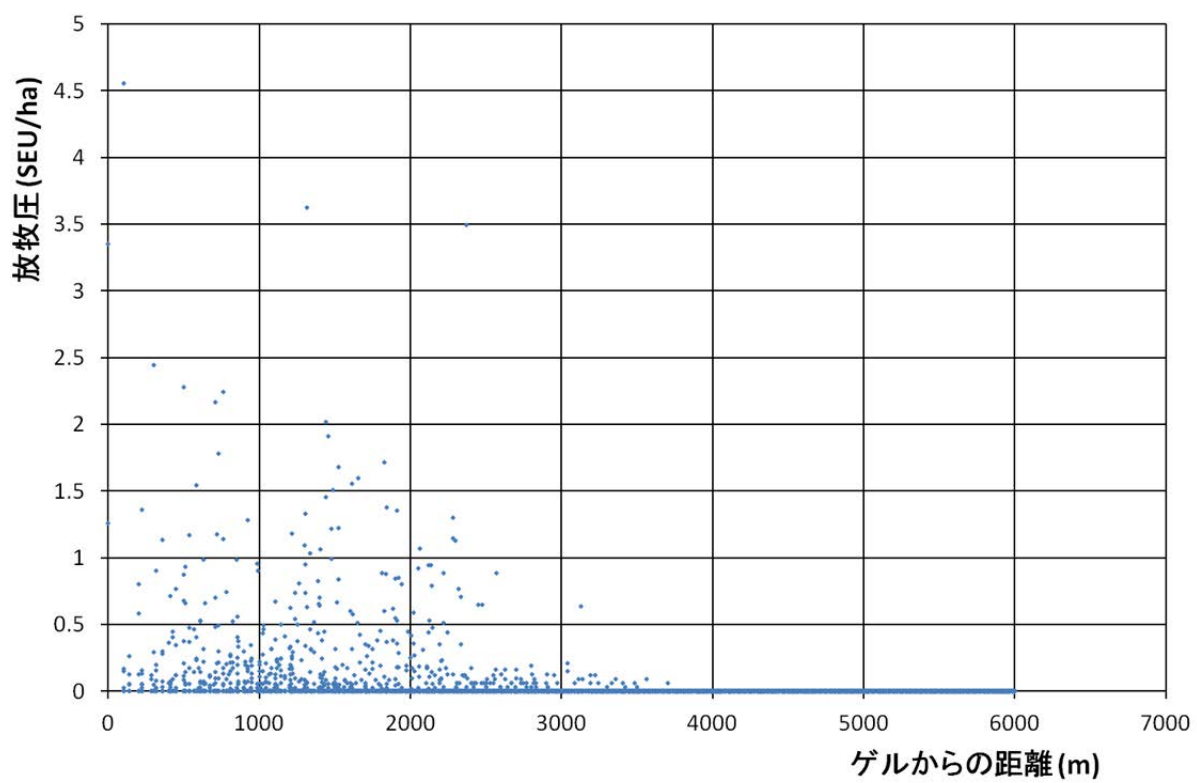


図 120 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における牛の放牧圧とゲルからの距離の散布図

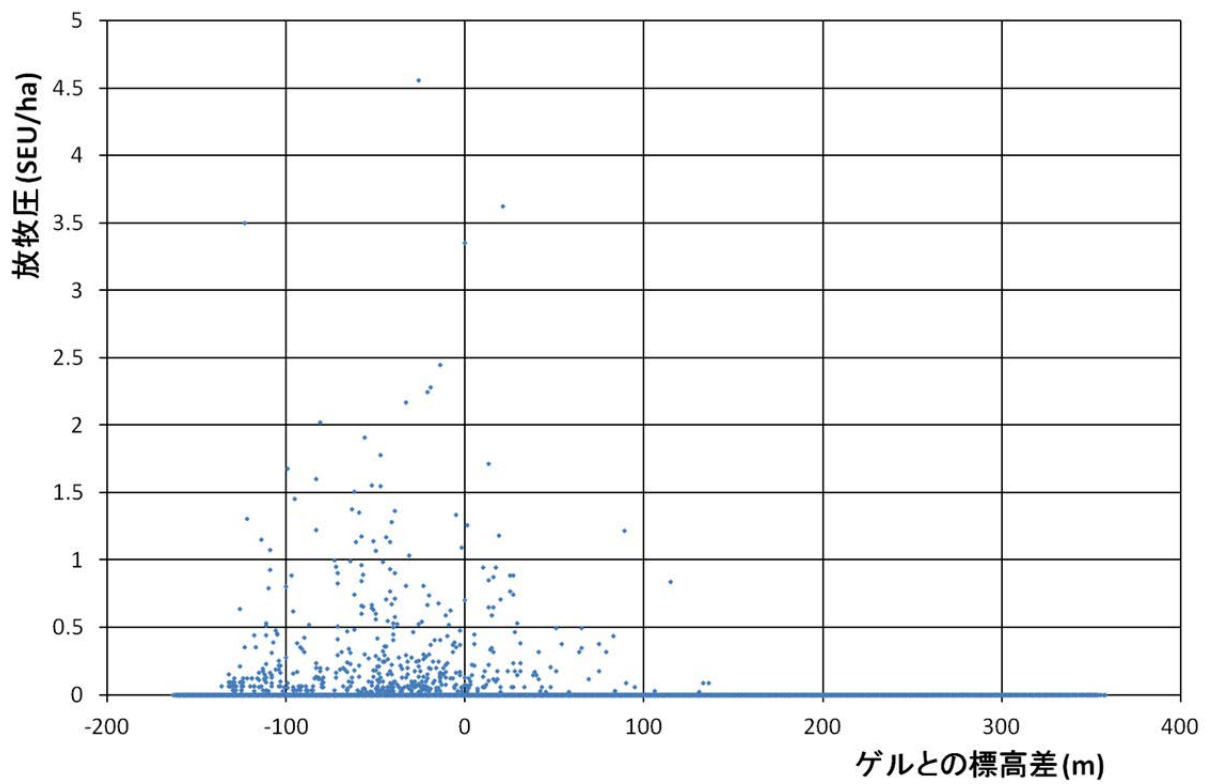


図 121 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における牛の放牧圧とゲルとの標高差の散布図

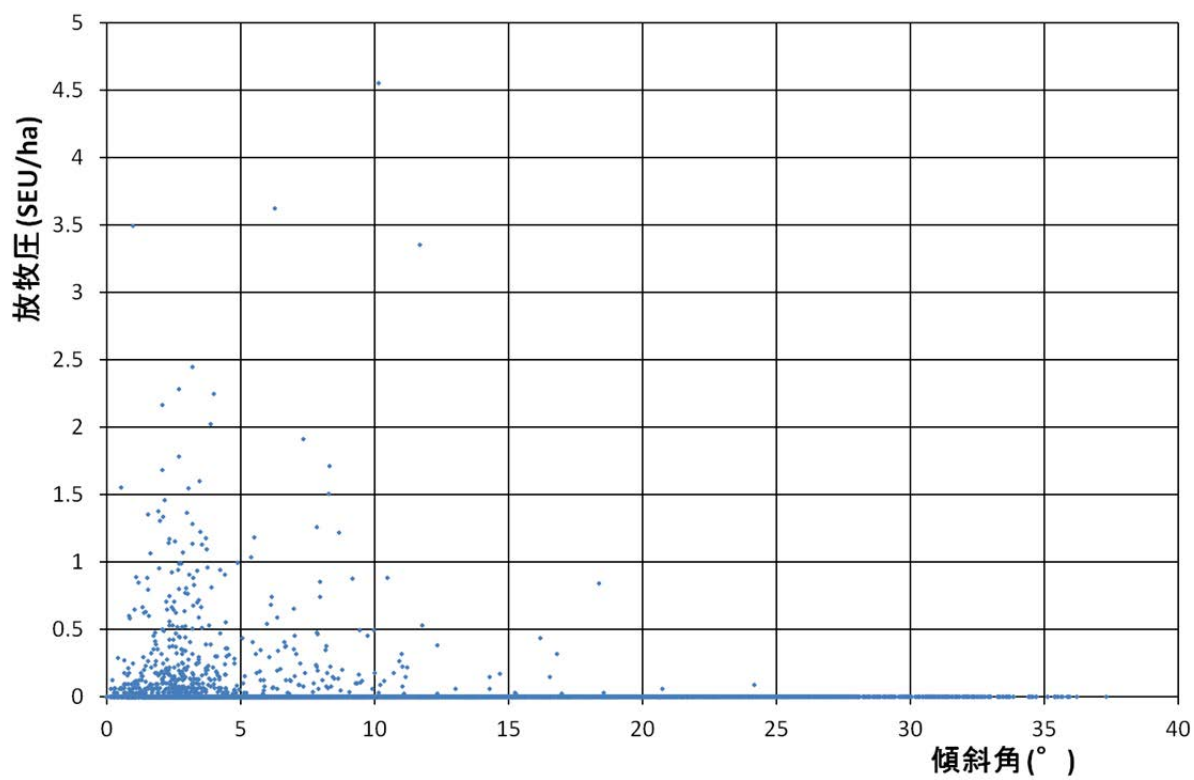


図 122 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における牛の放牧圧と傾斜角の散布図

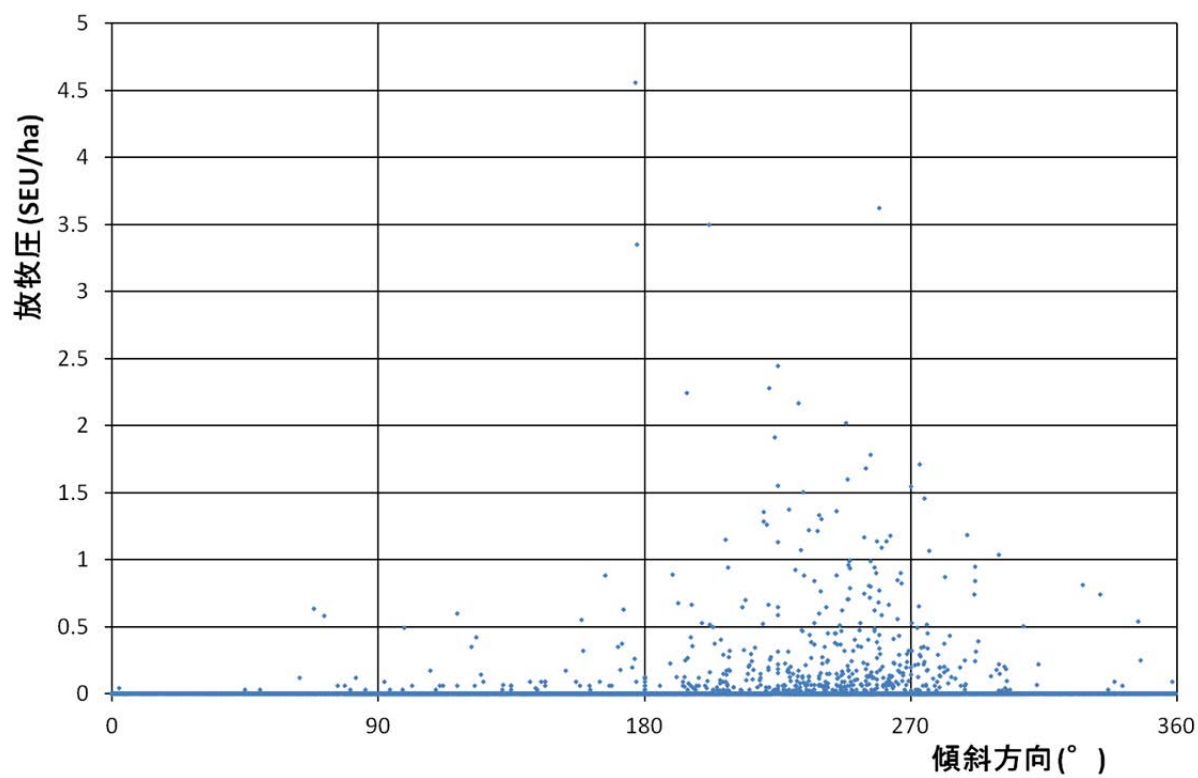


図 123 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における牛の放牧圧と傾斜方向の散布図

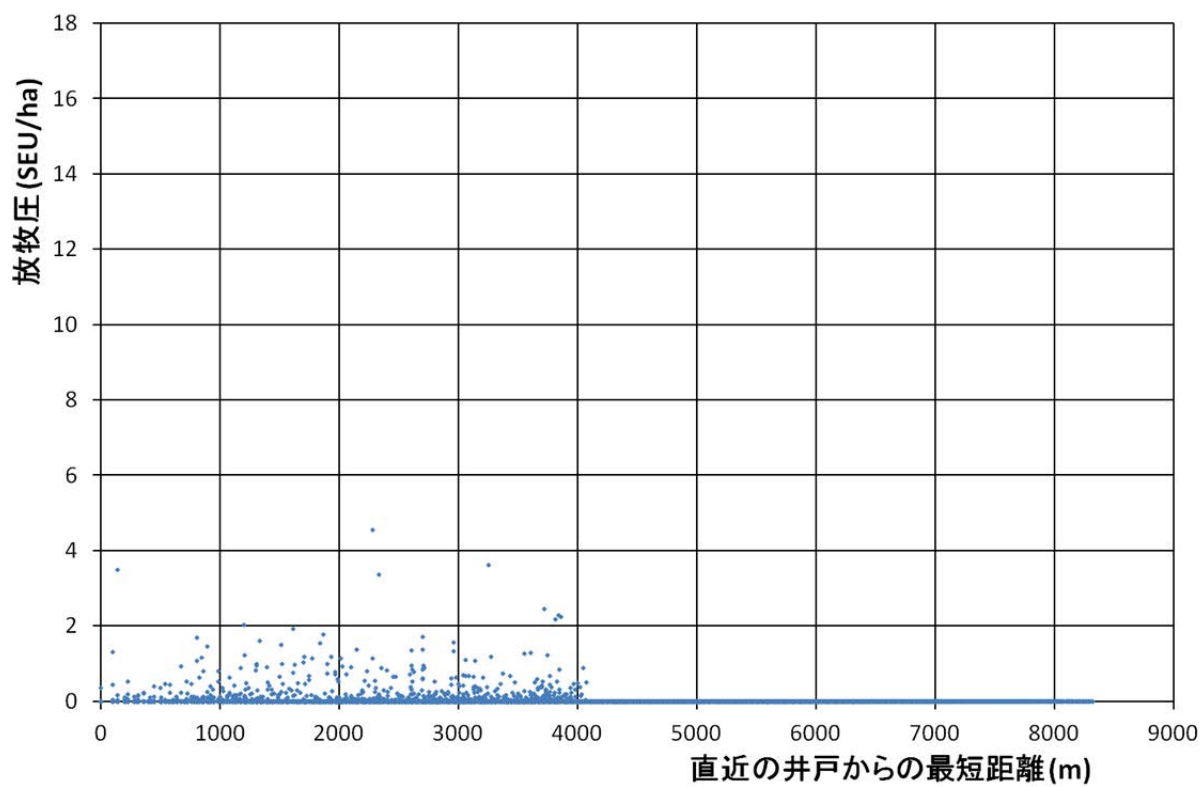


図 124 冬季ゲル 1・冬季ゲル 2 における牛の放牧圧と直近の井戸からの最短距離の散布図