

# 水の蒸発に係わる諸問題

杉田倫明  
地球科学系講師

私の研究課題は「地表面から大気への水の蒸発」です。筑波大学の大学院入学当初に地球科学系で当時助教授でした古藤田一雄先生からやってみないかとお誘いを受けたテーマで、以来一貫して同一テーマで研究をしています。私自身は、10年以來経てもまだ研究しなければならぬことがいくらかでもでてくるというおもしろい課題を持つことができた幸運な研究者の部類に入るのはないかと思っています。さて、筑波フォーラムに何か書くようにというお誘いを受けまして、その「水の蒸発」に係わるいくつかの問題について若干の紹介をさせていたきたいと思います。

そもそも「蒸発」というかなり特殊な現象に係わる問題がそれほどあるのか不思議に思われる方が多いと思いますが、実は、水が蒸発するのに潜熱と呼ばれるエネルギーが必要であること（エネルギーの問題）、水が大気へ蒸発することで

我々が利用できる水そのものの量が減ること（水資源の問題）、そして野外で蒸発量を直接計る良い方法が無いこと（測定技術の問題）という3点が絡み合って、実に多くの問題、そして対応する学問分野と係わっています。

エネルギーの問題としての蒸発に特に大きく関係するのが、気象学です。気象学は大気中の現象一般を扱う学問ですが、空気の動きや大気からの降水といった現象をコントロールする大きな因子が、地表面から大気への水の蒸発です。地表面へは太陽を起源とする放射エネルギーが入力として入り、一部はまた放射エネルギーとして大気へ戻るわけですが、実は地球全体で1年を平均してみると、地表面に残った正味の放射エネルギーの約3/4にあたる量が水の蒸発により失われます。このようなわけで、たとえば、地球上のどこからどれだけ蒸発が起きているのかが正確に分かれれば、気

象学に基礎をおいた天気予報の精度が上がるだろうことが容易に想像がつきます。2番目の点は、割とわかりやすいと思います。日本の水資源の量などというものが様々な教科書に出っていますが、下に述べるように、そもそも蒸発量を計る方法がないので、水資源の量を現時点で正確に評価することは出来ないわけです。しかも、たとえば筑波ですと、年間1300-1700 mm ぐらいの雨が降って、その半分強にあたる600-800 mm ぐらいが蒸発として大気へ戻って行くわけですので出来るだけ正確に蒸発量を見積もることが、正確な水資源量の評価にもつながるわけです。

さて、このような蒸発量を、野外でどうやって計るかという3番目の問題ですが、前述のように、未だに直接地表面から大気へ出て行く蒸発量を実測する良い方法はありません。本学の水理実験センターや気象官署などで蒸発パンと呼ばれる装置を見たことがある人は、それで計れば良いというかもしれませんが、蒸発パンはたらいのようなおけに水を貯めておきその水の減り方から蒸発量を計るものです。すると地表面を普通に覆っている草地や森林の蒸発量とは似てはいても異なります。何故なら植物は気孔の開閉を通じて蒸発量をコントロールしている

らしいからです。らしいと書いたのは、このようなことを扱う植物生理学の分野でも、植物の種類による違いなどがあり、まだ本当のところはわかっていないからです。いずれにしてもこのような仕組みは当然蒸発パンにはありません。

そこで植生面からの蒸発を計るにはいくつかの工夫が必要です。その一つの方法が地表面のエネルギー収支式の正味放射量、地中熱流量、顕熱輸送量といった各項目を計ってやり最後に収支式で残ったただ1つの未知項である蒸発量を足算、引算から求めるといいうわゆるエネルギー収支法です。ひどくおおまかな方法のように見えますが、今の技術を持つてするとどうやら真の値に対して20% ぐらいの誤差で1時間程度の間の蒸発量が推定できるというのが関連する研究者達の意見です。これを適用するには、放射、土壌中の熱伝導などに関する知識と測定 of 技術が必要です。同じ様な収支の帳尻合わせから蒸発量を求める方法として、水文学で良く行なわれる水収支法があります。これは、ある流域を対象に、入力である降水量と出力である河川の流量を求め、その差が収支式の残りの項である蒸発量であるとするものです。流域中に蓄えられる水の量をうまく評価できませんので、計算の単位はそれが無視で

きような1月とか1年といったやや長いオーダーになります。また、もう1つの方法は、もともと水理学の分野で発達した境界層の理論を大気に当てはめるもので、水蒸気と風速の地表面付近の鉛直プロファイルから蒸発を間接的に求めることができます。最後に、発展途上であるが将来期待が持てる方法として、渦相関法と呼ばれる方法があります。これは水蒸気が地表面から蒸発した後は大気上方へ主に乱流の作用で運ばれる点に注目して、乱流による水蒸気の輸送量を直接計ってしまおうというものです。このためには、風速の鉛直成分と水蒸気量を1秒に10回程度という非常に早い速度で測定する必要があります。現在、風速は、空気中を音波の伝わる速度が風速と気温により変化することを利用したセンサーにより比較的容易に計れます。水蒸気量の方は、赤外線、紫外線の水蒸気による吸収を利用したセンサーが開発されていますが、いつでもどこでもというほどには実用化されていません。

さて、このような様々な工夫を凝らした蒸発量の評価は、これまでに主に地表面の上に数メートルの高さのタワーを立てて、それに必要なセンサーをつけて行ってきました。ところが、最近の人工衛星の技術の発達にともない、衛星から

のリモートセンシングで得られた、たとえば地表面温度や放射量を蒸発の推定に利用してしまおうという動きが出ています。しかも、地球環境問題との絡みで、いくつかの衛星が日本や米国、欧州から間もなく打ち上げられる予定です。ということは、これまでも必要とする関連する分野の知識が多かった水の蒸発の研究にさらにリモートセンシングという新しい分野の知識が必要になってきます。これまで以上に様々な分野の勉強が必要なのは、同時に、水の蒸発の研究は少なくともあと10年ぐらいは続けられるような気がしております。幸いなことに、この分野の研究施設として世界的に見ても（超？）一流であり、その研究内容が高く評価されている水理実験センターが本学にはあります。この分野の研究を1つの重要なテーマとする地球環境変化特別プロジェクトも昨年度よりスタートしました。また、先だってこの蒸発に関する研究でつくば奨励賞という賞を頂きました。この賞はこれからの仕事に期待の持てそうなものに与えられるものだそうで、期待を裏切らないように何とか頑張ろうと、ここのところ息が切れない程度に張り切っている毎日です。