

# 福井地区における水環境変動の実態把握と水収支の解析

建設工学専攻 宇治橋康行

## 1) 本研究の背景と意義

水資源賦存量は国家の社会的、経済的発展の大きな制約となっており、種々の時空間スケールでの水循環に関する研究は、水資源の不足によって生じる問題の同定、水資源の持続的な開発・保全上のために不可欠である。水資源賦存量の推定のためには、降水量と蒸発量の把握が必要である。地表面蒸発は、大気 - 陸面間における熱(エネルギー)・水交換の主要な現象であり、気候変動(気候システム)に大きな影響を与えられている。したがって、地表面フラックスの観測とそれに基づく蒸発量評価および水循環過程の解明は、水資源の観点のみならず気候変動研究においても重要である。

蒸発量の観測には、1) 水収支法、2) 渦相関法、3) 熱収支 Bowen 比法、4) 組合せ法などがある。水収支法は、対象領域の水収支の各項を測定し、水収支式の残渣項として蒸発量を推定するものであるが、水収支式の各項を長期間正確に連続に測定することは容易ではなく、汎用性のある方法とは言えない。渦相関法は、渦相関法は応答の早い測器を用いて 10 ~ 20 Hz のサンプリングを行い、直接鉛直方向の水蒸気の乱流輸送量を直接測定するものであり理論的に最も優れた方法であるとされている。しかし、測定結果・精度が測器の据付精度にきわめて敏感であり、データの処理が煩雑であるなどの問題点がある。一方、熱収支 Bowen 比法は、その測定の簡便性と精度の良さからよく用いられている。しかしながら、Bowen 比法には、1) 観測地点の地表面が平らで広く、風上に空気層を乱すものがなく吹送距離が確保され境界層が十分発達し、2) 顕熱と潜熱の乱流輸送係数が等しく、3) 大気の安定度が中立であるという条件がいくつかの条件があり、蒸発量観測が求められる場所がこの条件を必ずしも十分満たしていない場合も多い。したがって、複雑な地表面条件における熱収支 Bowen 比法の適用性を評価することは重要である。

## 2) 本研究の目的

本研究では、微気象観測およびフラックス観測に基づく蒸発量評価と実蒸発量観測の比較により複雑な地表面条件における熱収支 Bowen 比法による蒸発量観測の適用性を考究する。

## 3) 結果(実験手法を含む)と考察

地表面フラックスの観測および地表面実蒸発量の観測は福井工業大学あわら学舎内の観測露場で行った。観測露場周辺の状況を写真 1, 2 に示す。写真 - 1 に示すように露場のすぐそばに北潟湖があり、さらに北西約 2 km には日本海が広がっている。また、写真 - 1 に示すように観測露場の北 ~ 西方向に樹木があり、南には校舎と樹木、東側には高さ 2 m 弱の起伏があり、観測露場周辺の地形条件は前述の Bowen 比法の適用条件が十分満たされていない可能性がある。

フラックス観測および熱収支 Bowen 比法の適用に必要な気象要素の観測は、写真 - 2 に

表 - 1 AWS 観測システム諸元

観測項目	測 器 名	測定高さ	測定時間間隔	記録時間間隔
風 速	WAA151 (ヴァイサラ社製)	2, 4, 6, 8m	1 sec	1 min
気温, 湿度	HMP45D (ヴァイサラ社製)	2, 4, 6, 8m	1 sec	1 min
風 向	WAV151 (ヴァイサラ社製)	10 m	1 sec	1 min
直達日射量	PHSX-2 (プリード社製)	1.5 m	1 sec	10 sec
全天日射量	CN14 (Kipp&Zonen 社製)	1.5 m	1 sec	10 sec
放射収支量	CNR1 (Kipp&Zonen 社製)	1.5 m	1 sec	10 sec
アルベド	CM11 (Kipp&Zonen 社製)	1.5 m	1 sec	10 sec
地中熱流速	UT03 (Hukseflux 社製)	3cm, 5cm	1 sec	10 sec
降 水 量	RS-222 (小笠原測器)	50 cm	1 hr	1 hr
パン蒸発量	OW20 (大田計器製)	30 cm	1 hr	1 hr



写真 - 1 観測露場周辺の状況  
(赤い丸が観測露場)



写真 - 2 観測露場と AWS タワー

示す高さ 10m の AWS (自動気象観測システム) タワーおよびフラックス観測システムを用いて行った。観測項目および観測時間間隔は表 - 1 に示すとおりである。

地表面実蒸発量の観測は、図 - 1 に示す内径 6.7 cm、長さ 60cm 内分円筒に土壌を充填したものを外円筒に入れた 2 重円筒式土壌カラムを用いて行った。この方法は、水収支法で用いられるウエイングライシメータを小型軽量化したものである。ただし、直径が小さいので複雑地形条件下では空間代表性に問題があるため円筒を露場内 5 本および東側の起伏面上に 4 本の合計 9 本埋設し、その平均値を用い、これを露場周辺の蒸発量とした。地表面蒸発量の測定は、カラムの重量変化を 1 時間おきに

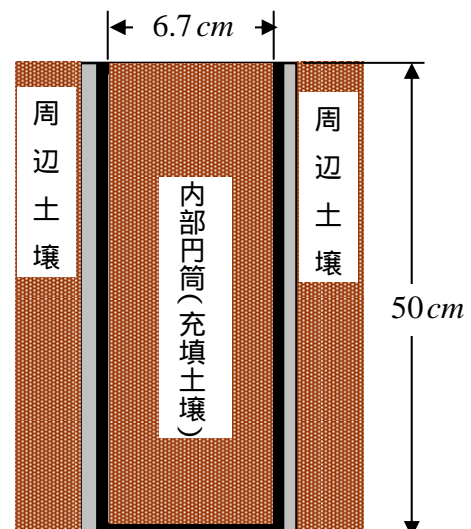
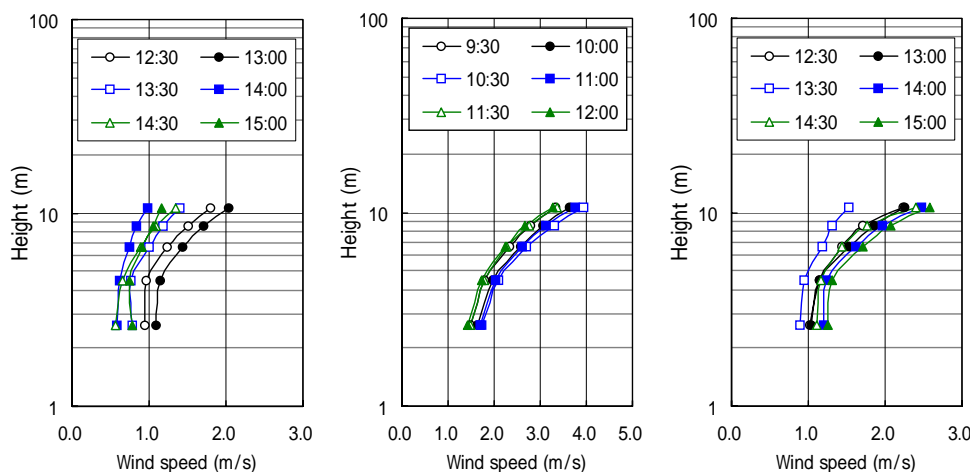


図 - 2 蒸発量測定用 2 重円筒式土壌カラム

測定することにより求めた。

表 - 2 地表面実蒸発量観測実施月と日数

観測月	3月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
観測日数	1	1	5	3	9	11	4	1



(a) 2007年8月7日 (b) 2008年9月8日 (c) 2009年6月1日

図 - 3 風速の鉛直分布

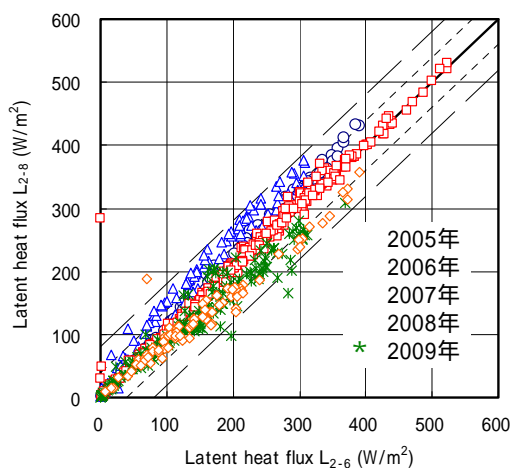


図 - 4 異なる2高度のデータを用いた潜熱フラックスの計算値の比較

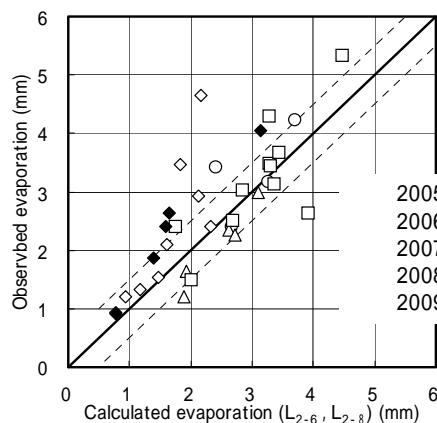


図 - 5 日中の蒸発量のBwoen比法による観測値

実蒸発量観測は、2005年～2009年の5年間に表-2に示すように、降雪量のある冬季と4月を除く8ヶ月に延べ35日行った。図-3は蒸発量観測日の風速の鉛直分布の例を示したものである。何れの場合も、最下層の風速が早めに出ているが、4～10mの範囲ではほぼ対数分布則に従っていると言える。図-4は高さ2m, 8mのデータを用いて求めた潜熱フラックス $L_{2-8}$ と高さ2m, 6mのデータを用いて求めた潜熱フラックス $L_{2-6}$ を比較したものである。図から、ほとんどすべてのデータが誤差20%以内であり、およそ80%のデータ

は誤差 10%の範囲にある。

図 - 6 は、同じく 2005 ~ 2009 年の時間蒸発量の実測値と Bowen 比法による観測値を比較したものである。

これらの観測結果から以下のことが明らかになった（宇治橋康行、福井工業大学研究紀要、第 38 号，pp.221 - 228，2008；宇治橋康行、水文・水資源学会 2008 年度研究発表会、pp.276 - 277，2008）

1) 風速分布は最下層の風速がやや早いことを除けばほぼ対数分布則にしたがっている。

2) 地表面から高さ 2 ~ 8 m の範囲でほぼフラックス一定の近似が成り立って入る。

3) 1), 2) のことからあわら北潟湖近傍の非一様複雑地形においても Bowen 比法の適用が可能であることが明らかになった。

4) Bowen 比法による観測値と 2 重円筒式土壌カラムを用いた蒸発量の観測値は日中，時間蒸発量とも実用的な範囲で一致した。

5) 地表面が吸収する正味放射量の約 78% が潜熱に，22% が顕熱に配分される。

6) 小さな直径の土壌カラムを複数配置することにより大規模のライシメータを用いなくても地表面蒸発量が十分測ることができる。

#### 4) 国内外の研究のなかで占める本研究の位置づけ

蒸発量の観測は，大型のライシメータを用いた水収支法による観測が最も直接的で正確であるが，その観測は特別な研究目的に限られ一般的ではない。渦相関法，熱収支 Bowen 比法による観測も国内外で多く行われているが，いずれも十分広い一様な地表面条件で行われている。實際上多くの場合，特に，日本では十分広い一様性を満たしていない場所での観測あるいは推定が要求される場合が多い。このような場所において，現在用いられている観測法や推定法の適用性を検討するための基礎的資料，知見を与えるものである。

#### 5) 新規性，独創的な点

実用上多くの場合で要求される複雑微地形における蒸発量の実態に関して 2 重円筒式土壌カラムを用いて観測した点。この結果を用いて熱収支 Bowen 比法の適用性を検討し，実用上十分な精度での蒸発量観測が可能であることを示した点。

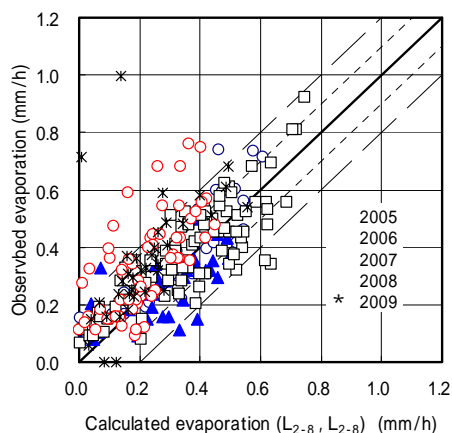


図 - 6 時間蒸発量の Bowen 比法による観測値と土壌カラムによる観測値との比較