

第II部門 水田・湖面における水・熱収支の季節変化に関する研究

京都大学大学院

京都大学大学院工学研究科

学生員 ○石岡賢治

正員

京都大学防災研究所

中北英一

京都大学防災研究所

正員

田中賢治

池淵周一

1 はじめに 琵琶湖プロジェクトは「琵琶湖流域の水・熱循環過程解明に向けた総合研究と衛星同期共同観測」を骨子としたオープンなプロジェクトであり、これまでは短期集中型のスポット的な検証観測が主体であったが、水・熱循環の季節変化、年々変化、さらには衛星データのオペレーショナルな運用、長期地点観測情報の面代表性の定量的な明確化等を目指して、1998年度より水田、森林の2地点、1999年度からは都市、湖面の2地点で常設熱収支観測システムの運用を開始した。本研究ではこの中で水田、湖面で取得された約1年分のデータを利用して、熱収支の日周、季節変動を求め、さらに水体モデル・水田モデルの感度分析および検証を行う。

2 観測データの処理

2.1 湖面における観測データ 水深の大きな湖では水温変化が小さいため貯留熱を計測することは難しい。そのため、潜熱、顕熱を水面と1.5mの気温および湿度を用いてバルク法で求め、貯熱項は熱収支の残差から求める。純放射(R_n)は観測値なのでバルク係数に依存しないが、顕熱(H)、潜熱(λE)はバルク係数に比例する。ここでは大気安定度を考慮せず、年間収支で貯留熱項(G)が0となるようなバルク係数を決定したところ、 2.78×10^{-3} となった。表1は、湖面の月別の熱収支を表している。 λE は10月に最高値で、4月に最低値となっている。 H は10月から3月にかけて高く、4月に最低値となっている。

2.2 水田における観測データ 水田では湛水時には水による貯留熱(G_{water})と土壌部分の貯留熱(G_{soil})の合計が G となる。水の層の貯留熱は水温変化と水深から計算し、土壌部分の貯留熱は熱流板で計測した。このように水田では貯留熱を計測できるので、ボーエン比熱収支法で潜熱、顕熱を計算した。表2は、水田の月別の熱収支を表している。5月から8月にかけて R_n は大きくなっているのに対して、 G は小さくなっている。これは稲が生長したことにより太陽放射が地表面に届きにくくなっているからである。

現在の観測システムは夏の水田を対象としたシステム構成であり、冬季の積雪の効果をうまくとらえられていない。したがって現時点では熱収支の季節変化に関しては無雪期のみを議論の対象とする。今後システムの改善に取り組んで行くが、積雪期の G の観測は困難である。融雪モデルや乱流フラックス観測データも合わせて検討しながら、通年の熱収支の精度を向上していきたい。

表1: 湖面の月別熱収支 (Wm^{-2})

観測期間	R_n	G	H	λE
99/7/25~'31	107.3	13.01	-8.62	102.9
99/8/1~'31	132.9	11.85	-2.09	123.1
99/9/1~'30	91.00	-31.60	6.01	116.6
99/10/1~'31	57.81	-104.7	18.61	143.9
99/11/1~'30	24.01	-67.17	12.28	78.90
99/12/1~'31	0.637	-81.84	19.42	63.06
00/1/1~'31	12.57	-47.52	10.49	49.58
00/2/1~'29	20.80	-50.90	23.54	48.14
00/3/1~'31	65.26	48.19	-10.38	27.45
00/4/1~'30	111.0	119.0	-23.12	15.17
00/5/1~'31	148.9	123.52	-9.21	34.58
00/6/1~'30	118.4	54.23	4.73	59.43
00/7/1~'24	181.4	30.66	10.95	139.8
日平均値	79.24	0.049	4.686	74.50

表2: 水田の月別熱収支 (Wm^{-2})

観測期間	R_n	G	H	λE
99/8/9~'31	119.0	0.83	15.44	102.7
99/9/1~'30	97.30	1.51	15.55	80.23
99/10/1~'31	70.68	-8.08	14.20	64.58
99/11/1~'30	35.93	-9.58	7.14	38.37
99/12/1~'31	22.16	-12.20	2.25	32.11
00/1/1~'31	28.91	-8.25	3.09	34.06
00/2/1~'29	24.86	-10.00	0.35	34.52
00/3/1~'25	67.36	-2.34	5.90	63.76
00/5/16~'31	140.4	-2.72	16.86	126.2
00/6/1~'30	109.2	9.12	11.52	88.60
00/7/1~'31	150.6	7.15	12.68	130.8
00/8/1~'17	172.1	5.92	21.01	145.2
日平均値	78.63	-3.042	9.564	72.10

3 数値シミュレーション 湖面に関してはSiBUC¹⁾の水田モデルを用いて、水田に関してはSiB2をベースとして水の層の効果や人為的な水管理の効果を導入した水田モデル(P-SiB2)²⁾を用いて、通年のシミュレーションを実施し、モデル計算値と観測値を比較した。

3.1 水体モデル 水体モデルでは、有効水深(Z_s)、透過因子(β)、空気力学抵抗の最小値(r_{awmin})という3つのパラメーターを与えている。表3は水深の異なる3つの湖における熱収支量の年平均値(観測値)を比較したものである。³⁾また表4は、 Z_s を大きくしていった場合の熱収支量の年平均値(貯熱量につ

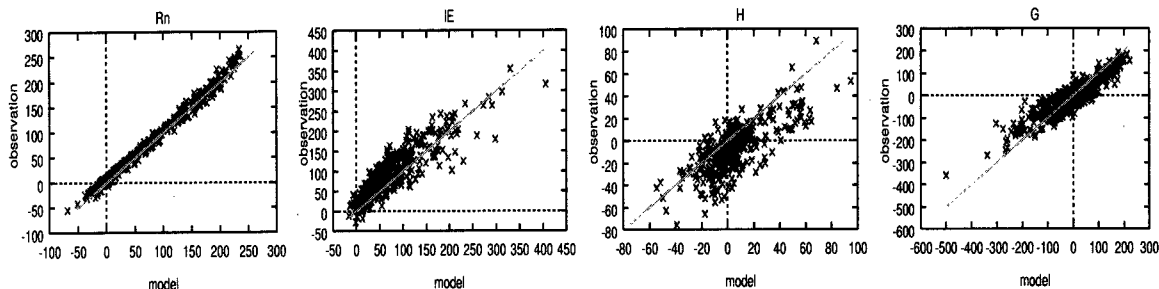


図 1：モデル計算値と観測値の比較（純放射、潜熱、貯留熱）

いては絶対値の年平均値 [Wm^{-2}] を表示している。表 4 から、水深が深くなるにつれ貯熱量の絶対値が大きくなるのに対して λE の年平均値はそれほど影響を受けないことなど、水体の深さによる熱収支特性の違いをモデルでうまく表現できていることがわかる。

表 3：様々な深さの湖における熱収支の観測値

湖名	十和田湖	野尻湖	霧ヶ浦
平均水深	80m	21m	3m
顕熱輸送量 [Wm^{-2}]	31	23	18
蒸発の潜熱 [Wm^{-2}]	53	51	66
貯熱量の絶対値 [Wm^{-2}]	111	61	21

表 4：様々な有効水深でのシミュレーション結果

Z_0 [m]	3.00	1.00	0.30	0.10	0.03
顕熱輸送量 [Wm^{-2}]	3.2	-4.5	-6.4	-6.9	-7.3
蒸発の潜熱 [Wm^{-2}]	80.7	88.9	91.9	94.2	96.4
貯熱量の絶対値 [Wm^{-2}]	272.5	130.1	66.6	43.6	32.1

先に述べた3つのパラメータを調整してシミュレーションし、観測値と比較した結果が図 1 である。横軸を計算結果、縦軸を観測値としてプロットし、直線は傾き 1 の直線である。湖面の春先の蒸発量をモデルでうまく再現できなかったが、これは融雪水の流入による湖面温度の低下によるものと考えられる。しかし、春先以外は再現性が良い（観測値との相関係数は純放射が 0.9887、潜熱が 0.7802、顕熱が 0.5495、貯留熱が 0.8454）。また、顕熱が全体的に過小評価されているが顕熱の絶対値自体が他の要素に比べて小さいので、再現性に与える影響は少ない。

3.2 水田モデル P-SiB2 は 3 つのモード (1.SiB2 オリジナル, 2.観測水深を利用, 3.水管理ルールで水深を予報) で計算を実施した。観測データから推定した水管理に関するパラメータは、1999 年と 2000 年で異なる値となった。さらに長期間のデータを蓄積して、より現実的な水管理ルールのモデル化が必要である。次に SiB2 と P-SiB2 との比較であるが、ともに熱収支に関する観測値との相関係数は高い値を示した。（と

もに純放射・潜熱が 0.9 以上、顕熱・貯留熱が 0.7 以上）今回の計算では、比較的降水も多かったため、SiB2 においてもあまり極度に土壤が乾燥せず、熱収支の面では P-SiB2 と近い結果となったと考えられる。しかし、土壤水分を見ると水の層を考慮した P-SiB2 では、水収支に関してもより現実的に表現されていることが分かる。（図 2）

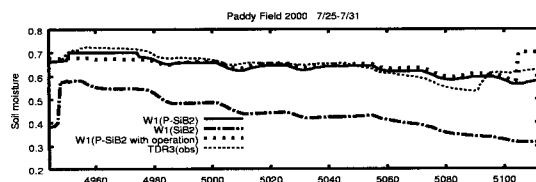


図 2：モデルと観測値の土壤水分に関する比較

4 おわりに 本研究では湖面に関して 1999 年 7 月 25 日から 2000 年 7 月 24 日までの 1 年分のデータセットを作成し、水田に関して 1999 年 8 月 9 日から 2000 年 8 月 17 日までの 1 年分のデータセットを作成した。また、SiBUC の水体モデルの通年計算を実施して 3 つのパラメータの感度分析を行った。その結果、3 つのパラメータを調整し春先以外は再現性が良いことが分かった。次に SiB2、P-SiB2 による春から夏の計算を実施して熱収支に関してはいずれも観測値との相関が高いが、水収支に関しては P-SiB2 がより現実的であることが分かった。

[参考文献]

- 1) 田中賢治他：都市域・水体をも考慮した流域スケールの蒸発散モデルの構築とその琵琶湖流域への適用，京都大学防災研究所年報，第 37 号 B-2, pp.299-313
- 2) 林祐樹他：陸面過程モデル SiB2 をベースとした水田モデルの構築，2000 年度土木学会関西支部年次学術講演会，II-24
- 3) 近藤純正：水環境の気象学（地表面の水収支・熱収支），朝倉書店