

熱帯モンスーンアジアにおける放射環境と蒸発散 Radiation Environment and Evapotranspiration in Tropical Monsoon Asia

辻本久美子*・増本隆夫**・三野徹***

TSUJIMOTO Kumiko, MASUMOTO Takao, and MITSUNO Toru

1. はじめに 蒸発散量は直接測定が困難であることから、ペンマン法などの経験式によって推定されることが多いが、これらは、地域や季節、水分状態に応じて較正する必要がある。熱帯モンスーンアジアは、明瞭な雨季と乾季を有し、湿潤な雨季を利用して水田農業が営まれるなど、環境の季節変化が大きい。この地域での現地観測に基づいた蒸発散の研究例は未だ少ない。そこで、カンボジアの水田主体のトンレサップ湖周辺域において気象観測を行い、特に放射環境に着目してこの地域の蒸発散量について検討した。

2. 現地観測の概要 観測は、カンボジアのトンレサップ湖周辺域に位置する Kandal Stung (以下 KS とする)および Chong Khneas(CK)において、2003年6月より、時間単位で、Table1 に示す項目について行っている。熱帯モンスーン気候帯に位置するトンレサップ湖は、雨季にはメコン河から河川水が流入して湖面積が増大する一方、乾季には湖水がメコンデルタに向かって流出し、湖が縮小する。KS は、トンレサップ湖南東部に位置する灌漑水田地帯であり、Table2 に示す農事暦で一期作が行われている。CK は年間を通して湖面上に位置し、5-6月頃に最低水深(約 1m)、10月初めに最高水深(7~8m)をとる。

3. 水田蒸発散量に影響を及ぼす要因 データ収集状況の良好な KS について考察した。

蒸発散量推定の基準としてしばしば用いられるペンマン蒸発散位 ET_{pen} は、熱エネルギー供給量を表す第1項 ET_{pen1} (純放射量の関数)と、大気の水蒸気需要を表す第2項 ET_{pen2} (飽差の関数)の和として求められる。KS についてそれぞれ求めると(Fig.1)、飽差が小さい雨季には ET_{pen1} が卓越し、乾季には飽差の増加とともに ET_{pen2} が増加していることが確認される。すなわち、 ET_{pen} を規定する主な気象因子は、雨季には純放射量、乾季には純放射量と飽差であることがわかる。

次に傾度法によって、KS における実蒸発散量 ET_a を求めた結果を Fig.2 に示す。乾季に

Table1 観測項目 Observation items

Kandal Stung (KS)			主な欠測(全項目):2004/8/30-2004/10/5
観測項目	観測機器	備考	その他の主な欠測
風向・風速	034A-L30 (Campbell)	高度7mに設置	
風速	014A-L30 (Campbell)	高度0.8mに設置	
放射収支	CNR1 (Kipp&Zonen)	放射4成分を測定	
気温・相対湿度	CS500-L30 (Campbell)	高度7mと0.8mに設置	
大気圧	CS105 (Campbell)		
降雨量	TES25MM-L25 (Campbell)		
熱流板	HFT3 (Campbell)	2004/11/22に設置	
			高度基準面:観測タワー設置地表面
Chong Khneas (CK)			主な欠測(全項目):2004/12/3-2004/1/9
観測項目	製品名	備考	その他の主な欠測
風向・風速	034A-L30 (Campbell)	高度4mに設置	
風速	014A-L30 (Campbell)	高度-1mに設置	2003/11/13-2004/11/23
放射収支	CNR1 (Kipp&Zonen)	放射4成分を測定	
気温・相対湿度	CS500-L30 (Campbell)	高度4mと-1mに設置	2003/11/13-2004/5/19 (高度-1m)
大気圧	CS105 (Campbell)		
降雨量	TES25MM-L25 (Campbell)		
水温(非接触表面)	BS30 (OPTTEX)		
水温	107-L70 (Campbell)	高度-7mと-11mに設置	
水深			2004/2/12-2004/11/21
			高度基準面:観測タワー-水平板(水深11.35mに相当する)

Table2 KS の農事暦
Agricultural Calendar (KS)

苗つくり	6月後半~7月
田植え	7月後半~8月
早稲収穫	11月後半
晩成稲収穫	12月後半~1月

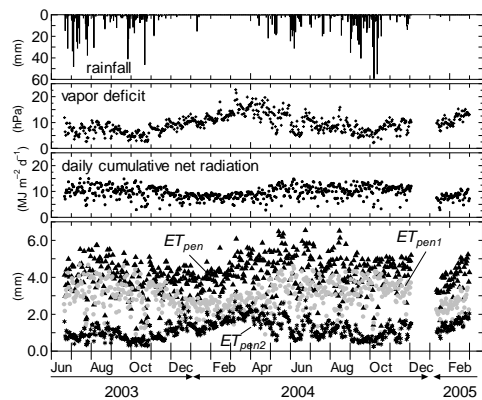


Fig.1 ペンマン蒸発散位(ET_{pen})と各項の計算値(ET_{pen1} , ET_{pen2}) Potential evapotranspiration calculated by Penman equation (ET_{pen}) and its two components (ET_{pen1} , ET_{pen2})

*京都大学大学院地球環境学舎 Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University,

** (独)農業工学研究所 National Institute for Rural Engineering,

***京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

Keywords: 蒸発散, 熱帯モンスーンアジア, 放射環境, 現地観測

は比湿の鉛直勾配が形成されず，蒸発散がほとんど生じていないことがわかる．これは，乾季には土壤の乾燥が進み，蒸発に用いられる十分な水分が無いことと，イネの収穫により蒸散量が減少することによって考えられる．この間はポーン比が高く，熱エネルギーの多くが顕熱として使われている．つまり，乾季の非湛水/非灌漑地では，水田土壤水分が大気湿度とともに減少するため，飽差の増加によって ET_{pen2} は増加するものの，土壤水分減少を介して ET_a は減少する．

4. 対象地の放射環境 ET_{pen} を規定するもう 1 つの要因である純放射量は，一般地上気象観測では測定されていないことが多く，しばしば大気圏外日射量 Q_a や日射量 S_d などから推定される．そこで，観測された放射 4 成分(全天日射量 S_d ，反射量 S_u ，下向き長波放射量 L_d ，上向き長波放射量 L_u)から，純放射量 R_n および S_d に対する R_n の比を求め， Q_a とともに示した(Fig.3)． Q_a の大きい時期が，雲により日射が遮られる雨季にほぼ対応するため， S_d の季節変化は Q_a に対して小さくなる．一方 R_n について見ると，12-2 月にかけて少なく 5-9 月にかけて多いこと，CK の方が KS よりも R_n が多く，その変動が小さいことが分かる．これは， R_n/S_d の季節変化と対応している．

次に R_n/S_d を規定する L_d ， L_u およびアルベドについて見ると(Fig.4)，次のことがわかる．(1) L_d は 11-3 月にかけて少なく，これは乾季で雲が無いことによると考えられる．(2) L_u は CK および湛水期の KS で小さく，これは，水の比熱が大きいために表面温度の上昇が抑えられているためであると考えられる．一方，非湛水期の KS では L_u が大きく増加しており，地温が上昇していると考えられる．(3) CK のアルベドは明瞭な年変化を示している．この原因として，湖水深変化に伴う湖水濁度や浸水林浸水率の変化が考えられるが，今後さらに検討が必要である．

5. おわりに 明瞭な雨季・乾季をもつ熱帯モンスーンアジアでは，太陽周期や雲の存在，大気の飽差といった気象環境の季節変化に加えて，地表面(水面)状態が大きく季節変化する．とりわけ，水田主体のトンレサップ湖周辺域では，この傾向が顕著である．地表面(水面)の季節変化は，土壤水分や放射環境の季節変化を介して蒸発散に影響を与えていることから，この地域の蒸発散量を推定する上では，気象要素のみならず，地表面(水面)状態の季節変化を十分に考慮する必要がある．

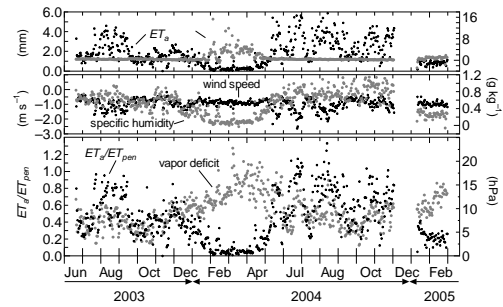


Fig.2 上段： ET_a (左軸)およびポーン比(右軸)，中段：2 高度間(低高度 - 高高度)の風速(左軸)および比湿(右軸)の差，下段： ET_d/ET_{pen} (左軸)と飽差(右軸)の関係
top: ET_a (left axis) and Bowen ratio (right axis), center: difference (lower-upper) in wind speed (left axis) and specific humidity (right axis) bottom: ET_d/ET_{pen} (left axis) and vapor deficit (right axis)

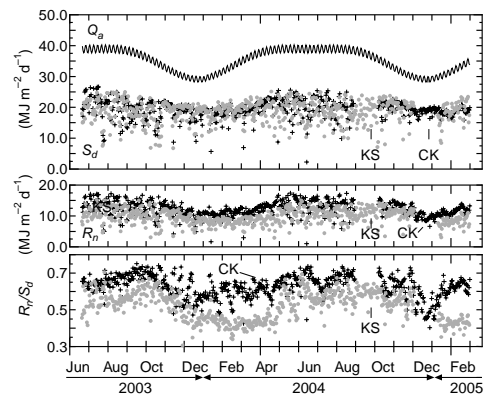


Fig.3 Q_a , S_d , R_n および R_n/S_d (KS, CK)
 Q_a , S_d , R_n and R_n/S_d (KS, CK)

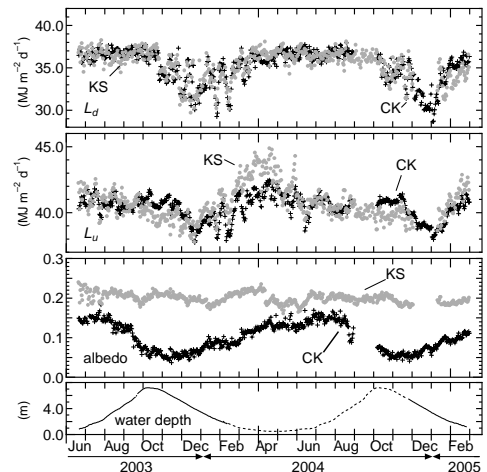


Fig.4 KS, CK における L_d , L_u , アルベドおよび CK の水深(点線は推定値)
 L_d , L_u and albedo (KS, CK) and water depth at CK (dot line for estimated values)