

## 論文審査の結果の要旨

申請者 アルディアンシャ

熱帯気候では、年間を通して気温が高く一定のため、水田稲作において気温による制約がなく水のみで制約され、水さえあればいつでも稲の栽培ができ、一年に3回までの栽培が可能である。しかし、雨期と乾期があり、雨期には栽培が行われる多くの水田が乾期には水が不足するため一時的に非耕作（非灌漑）となり裸地状態におかれる。この乾期における裸地状態の非耕作水田は、表層土壌が乾燥するため、耕作（灌漑）水田および森林等の自然の植生被覆地に比べて蒸発散量が大きく低下し、これによって流域下流に対して水資源（河川の下流に対する湧水流量）を自然状態（森林等の植生被覆）よりも増加させていると考えられる。本論は、インドネシア・ジャワ島のチダナウ流域（流域面積 220 km<sup>2</sup>）を対象に、乾期の非耕作水田における蒸発散量低下を推定したものである。ところで、灌漑水田からの蒸発散量はほぼ可能蒸発散量裸地状態で気象データから容易に計算できるが、時間と労力を要するとともに田面の乾燥状態に依存するため、流域スケールでの測定は困難である。しかし、水田等の表面温度は衛星リモートセンシングや地上での放射温度計で容易に測定できる。そこで本研究では、日中の表面温度と蒸発散量との関係を、土壌乾燥層を含む大気との熱交換と土中熱伝導を連立した物理モデルを基に誘導して、表面温度測定から流域スケールで非耕作水田の蒸発散量低下を推定した。

2章で流域の特徴を記述し、3章で長期の流域水収支として流域降雨量（平均 2600mm）と流域外への河川流量（約 1300mm）の差から流域実蒸発散量（ $ET_a$ ）を求め、気象データから FAO-ペンマン・モンテューズ式による可能蒸発散量（ $ET_0$ ）を計算して比較したところ、 $ET_a=0.8 ET_0$ となった。

4章において、流域内に選択した調査地において乾期における非耕作（非灌漑）と非耕作（非灌漑）の蒸発散量（ $ET_a$ ）をボーエン比熱収支法とマイクロライシメータ法（裸地水田のみ）で実蒸発散量を測定し、表面温度および地温を測定して比較したところ、耕作（灌漑）水田の  $ET_a$  は平均で 5.1 mm d<sup>-1</sup>であったが、非耕作（非灌漑）水田の  $ET_a$  は約 2.4 mm d<sup>-1</sup>で耕作水田の約 1/2 であった。また、表面温度は、非耕作水田が正午において 10-15℃ 高かった。

6章において、同一気象条件における土壌の乾燥に伴う蒸発散量の低下と表面温度の上昇を物理モデルによって計算した。このモデルは、土壌（または植生群落）表面と大気との間の熱（放射、潜熱、顕熱）交換と土壌中の熱伝導方程式を同時に満たすように、各時間ステップにおいて連立させて解き、熱収支項目と表面温度および地温を時間ステップごとに求めるものである。ここにおいて土壌の乾燥の影響を乾燥層モデルで表現し、乾燥層底部で蒸発が生じて水蒸気が乾燥土層を拡散するものとして、乾燥層厚さに比例する拡散抵抗を水蒸気輸送に加えた。モデルにおいて、土中の熱伝導が重要で土の熱特性に依存す

るため、熱伝導率と含水量との関係を実験で測定した（5章）。モデルで計算された熱収支項目と表面温度は実測例をよく表現した。さらに、乾燥層の厚さを変化させながら  $ET_a$  と日中の表面温度  $T_s$  を計算し、モデル計算によって蒸発散比  $ET_a/ET_0$  と濡れた表面に対する表面温度上昇「 $T_s - T_{s,w}$ 」（ $T_{s,w}$ ：十分に濡れた土壌の表面温度）との関係を得た。この関係は一次式で近似できるものであった。

7章では、衛星リモートセンシング（Landsat）と地上リモートセンシング（地上での放射温度計による表面温度測定）によって、流域スケールでの耕作水田と非耕作水田との表面温度差を求めて比較し、これから流域スケールでの非耕作水田における蒸発散低下量を推定した。衛星リモートセンシングでは、吉川・塩沢（2006）のアルゴリズムで耕作水田と非耕作水田とを衛星画像上で区別した。地上リモートセンシングでは流域内水田を歩き回って様々な状態の耕作水田と非耕作水田、63地点の表面温度を測定した。この結果、衛星リモートセンシングの表面温度の頻度分布を耕作水田と非耕作水田について比較すると平均温度差は1.5℃程度で分布は重なっていたが、地上リモートセンシングでの表面温度の頻度分布は耕作水田と非耕作水田の平均温度差が11℃で分布はよく分離されていた。この結果から、地上リモートセンシングの表面温度は信頼性が低く、地上リモートセンシングの結果から、流域スケールでの乾期の耕作水田と非耕作水田の日中の表面温度差は11℃程度であることが明らかとなった。そして6章におけるモデル計算により、11℃の温度差は蒸発散量では  $ET_a/ET_0=0.5$  に対応し、これが流域スケールの非耕作水田の蒸発散量と推定された。

9章では、総括として、流域スケールでの水田面積率(30%)と乾期の非耕作率(50%)および蒸散比  $ET_a/ET_0=0.5$  から、非耕作水田の  $ET_a$  低下が流域全体の  $ET_0$  の7.5%と計算した。また非耕作水田における蒸発散量低下のメカニズムは、裸地表面土壌の乾燥が蒸発を妨げるため、この土地が水田でない場合は乾期でも植生で覆われ、植物の根は十分に水分のあるより深部から吸水するため、蒸発散量はほとんど  $ET_0$  である。水田であるために乾期に裸地となって  $ET_a/ET_0$  が低下し、下流に対する河川の湯水流量を増加させていると考察した。

以上、現地でのET測定と流域スケールの表面温度測定を行い、蒸発散量と表面温度との関係を物理モデルで求めて流域スケールの蒸発散量を推定する手法はオリジナリティが高く、その結果は水資源管理上、重要なものである。よって、審査委員一同は本論文を博士（農学）の学位を授与するに値するものと認めた。