

## 論文審査の結果の要旨

申請者氏名 吉川夏樹

---

窒素は全ての生物の体に必須の成分であり、土壌中の窒素の量は植物の生長を規定する。化成窒素肥料の導入は、農業生産性の飛躍的な向上をもたらした反面、多量の窒素肥料の投入による環境への負荷が、地下水や河川水の汚染、閉鎖性水域の富栄養化の問題を引き起こし、大きな問題となっている。人間活動は現在、生物由来の窒素固定と同量の窒素を固定しており、その約 50%が化成肥料生産によるものとされている。現在、急速に窒素肥料の消費が伸びているのが熱帯アジアモンスーン地域であり、環境への影響が最も懸念されている地域である。水域への窒素流出を予測しその低減策を評価することは、流域の環境管理の大きな課題である。河川や湖沼への窒素流出を測定したり、これをモデル化する研究は数多いが、窒素流出の予測やモデル化の前提となる流域スケールでの窒素収支に関する研究は、特に水田が農業的土地利用の中心となるアジアモンスーン流域においてほとんどない。流域の窒素収支項目には、測定できるものと生化学的大気放出（脱窒など）のように流域スケールでは測定できず、他の主な収支項目の全てが得られてはじめて残差として求まるものがある。本研究は熱帯水田流域において、窒素収支と窒素循環を明らかにしたものである。

### 1. 対象流域と調査

研究対象地はインドネシア、ジャワ島西北端部のチダナウ流域で、流域面積 220km<sup>2</sup>で 28% (61km<sup>2</sup>) が水田として利用されている。2003 年 10 月から 2005 年 7 月までに計 6 回の現地調査を行い、雨水、河川水の全窒素(TN)濃度及び河川流量を測定し、また、聞き取り調査によって、水田の単位面積当たりの肥料投入量、収穫量を把握した。地理データ、統計データを官庁より入手した。さらに、2004 年 10 月には、衛星画像分析の為にグラントゥールズデータを取得した。

### 2. 衛星画像による水田作付け面積の推定

流域の肥料投入量や米の収穫量は窒素収支の最重要項目であるが、その統計データも耕作水田面積のデータもないため、まず、リモートセンシングを利用して作付け水田面積を推定した。しかし、稲の生育段階が水田間で均一は温帯流域とは異なり、気温が高く一定な熱帯流域においては、水が利用できる限りいつでも稲作ができ、多期作が可能であるため、多様な生育段階の稲の水田が地域内に混在する。多様な生育段階が混在する流域で衛星画像を用いて作付け水田面積を推定することは新しい試みである。1991 年から 2004 年までの Landsat TM 及び ETM の 8 シーンについて、Landsat 画像のピクセルを、教師無し分類法で機械的に 15 クラスに分類し、それぞれのクラスの土地被覆の決定は、NDVI と中間赤外平均値に閾値を設け、NDVI で植生（生育した稲）を抽出し、中間赤外で水面（稲が初期生

育の作付け水田)を裸地(不耕作水田)と区分した。分類結果から積算して作付面積とし、電子地形図上の水田における作付け割合を算出した。グランドトゥールズと比較して、精度の高い推定ができたことが確認されたが、得られた作付け割合は季節によっても年によっても大きく異なるものであり、作付け割合は先行降雨によって変動することが示唆された。

### 3. 降雨データによる作付け面積変動の推定

そこで、Landsat の8シーンから得られた作付け割合と流域における90日間の先行積算降水量との関係を分析したところ、強い一次の相関が見られ、この回帰式を使って、先行積算降水量から作付け水田割合と作付け水田面積を推定することにした。これによって1991年から2004年の日降雨データから推定した流域の作付け割合を使って計算した年間の平均作付け回数は、年によって約1.5期作から2.4期作で、平均2.1期作となった。

### 4. 流域窒素収支

上記で推定した作付け水田面積と聞き取り調査で得た単位面積あたりの収量、肥料投入量、稲ワラ焼却割合を使って、流域への窒素(N)インプットである肥料投入によるNを計算し、Nアウトプットである米の流域外への持ち出しを収穫量から流域内消費を引いてもとめ、籾とワラおよび薪の焼却によるNの大気放出も計算した。測定した降雨および河川水の全窒素(TN)濃度と雨量および河川流量データから、降雨によるNインプットと河川からのNアウトプットが計算された。この結果、Nインプットは肥料が2/3を占め、アウトプットは自然の大気放出が56%で、河川流出の10%をはるかに越えることがわかった。

### 5. ラウダナウ湿地(1700ha)と水田エリアの窒素収支

また、ラウダナウ湿地(1700ha)と水田のみで構成されるエリア(890ha)を対象に、窒素収支を項目別に算出し、その残差を生化学的大気放出とした。湿地の脱窒による窒素除去機能が明らかになった。

### 6. 流域内水質測定による河川への排出原単位の推定

窒素の主な面源である水田及び点源である人口の排出原単位を、最小自乗法によって推定した。流域を調査時毎に14~17の副流域に分割し、各副流域の水田面積率、湿地面積率、人口密度を説明変数、流出河川の比負荷量から流入河川の比負荷量を差し引いた、「差し引き比負荷量」を被説明変数とした。河川の負荷量は、調査毎に広域に亘って取得した河川水サンプルのTN濃度データと各河川流量の推定値を使って求めた。

以上、本研究は、算定が容易ではない流域窒素収支を、衛星画像の解析と現地土地被覆調査による水田作付け面積の推定、農民への精力的な聞き取り調査、流域河川水のサンプリングと水質分析を駆使することによって明らかにしたものである。その結果は、脱窒を主体とする自然の大気放出が予想外に大きく重要であることがわかった。このように流域窒素収支と循環を示したことは学術上、応用上の価値が高い。よって、審査委員一同は本論文が博士(農学)の学位論文として価値あるものと認めた。