

ベトナム紅河デルタ地域における農地レベルの窒素循環 Field Level Nitrogen Cycle in Red River Delta, Vietnam

○八丁信正*・松野 裕*・古根川 浩之¹
Nobumasa HATCHO, Yutaka MATSUNO, Hiroyuki KONEGAWA

1. はじめに：本研究では、農地レベルでの窒素、水の循環をモデル化しその再現性を検証するとともに、持続可能な農地の管理方法を明らかにすることを目的とした。

2. 対象地の概要：大量投入型農業の一例として集約的農業が行われているベトナム国ハノイ、紅河デルタの中心に位置する Minh Khai コミュニンの Phuc Ly 村の野菜連作農地 (21° 07N 105° 76E) を対象地とした。ここで行われている、野菜の年 6 毛作地、イネの 2 期作地、そしてグレープフルーツの栽培が行われている 3 つの農地での窒素循環のモデル化を試みた。特に野菜栽培農地は大量投入型の集約的農業が行われており、多量の窒素流出があると見込まれる。また、近年の急速な近代化、工業化によって、元来行われてきた堆肥など、有機肥料の減少も見られる。対象地域では、紅河から導水されて灌漑が行われており、対象地域を囲む様にして主水路が引かれ、その主水路から分岐した複水路によって各農地に水が送られる。また、農地によってはため池を持ち、複水路から引かれた水がため池に貯められる。水はバケツを用いて人力でそれぞれの作物に供給されている。

3. モデル構築：

本研究ではシステムダイナミクス手法によって、農地レベルでの窒素・水の循環モデルの構築を行った。モデルは、Power Sim 社の Studio8 を用いた。

窒素肥料の投入、降雨、灌漑の 3 つをインプット、地下浸透、脱窒、作物吸収の 3 つをアウトプットと定義し、モデル構築を行った。窒素肥料の投入については (式 1)、脱窒については (式 2)、作物吸収については (式 3)、降雨中の窒素については (式 4)、そして灌漑水と地下浸透については (式 5) をそれぞれ用いた (窒素量の単位はすべて [kg ha⁻¹])。降雨、灌漑、地下浸透については後述の水循環モデルによって流量を求めた。

$$\text{窒素投入量} = \text{化学肥料投入量} [\text{kg ha}^{-1}] + \text{有機肥料投入量} [\text{kg ha}^{-1}] \times (100 - \text{含水比} [\%]) \times \text{全窒素} [\%] \quad (\text{式 1})$$

$$\text{脱窒量} = \text{窒素投入量} [\text{kg ha}^{-1}] \times \text{排出係数} [\%] \quad (\text{式 2})$$

$$\text{作物吸収量} = \text{最適総バイオマス量} [\text{kg ha}^{-1}] \times \text{C/N 比} \quad (\text{式 3})$$

$$\text{降雨に含まれる窒素分} = \text{降雨量} [\text{mm}] \times \text{圃場面積} [\text{m}^2] \times \text{水質} [\text{mg L}^{-1}] \quad (\text{式 4})$$

$$\text{灌漑・地下浸透水に含まれる窒素分} = \text{流出量} [\text{L}] \times \text{流出水水質} [\text{mg L}^{-1}] \quad (\text{式 5})$$

窒素循環を分析する上で降雨、灌漑、地下浸透などが窒素分を含むため、水循環データが必要となる。降雨、灌漑をインプット、地下浸透、蒸発散をアウトプットと定義し、モデル構築を行った。降雨量、灌漑水量については現地実測データを用い、蒸発散量の推定には Hargreaves ETO 式 (FAO, 1998) を用いた。また、地下浸透については土壤の保水可能量を上回ったものを地下浸透とした。土壤、肥料のモデル構築に用いたデータは現地で調査・研究を行っているベトナム

* 近畿大学農学部 (Faculty of Agriculture, Kinki University)

IAE (Institute for Agricultural Environment) より取得した。対象地域における作物ごとの肥料（化学肥料、堆肥）投入量、灌漑水量、および収量を表-1に示す。野菜の6毛作では、1ha当たり750kgもの窒素が投入されており、非常に大きな投入量となっている。また、対象地区の特産品であるグレープフルーツについても、その投入量が多い（417kg）。

表-1 作物ごとの肥料、灌漑水の投入量と収量

Crop	Nitrogen input		Irrigation	Yield	
	Fertilizer kg N ha ⁻¹	Manure ton ha ⁻¹	mm	ton ha ⁻¹	
Grapefruit	416.7	11.0	24	1.5	
Crop1	Spring rice	100.0	0	400	4.5
Crop2	Summer rice	100.0	0	400	3.8
Total rice-rice		200.0	0	800	8.3
Crop1	Choisum	84.0	3.3	110	27.8
Crop2	Pakchoi	199.6	3.3	115	33.3
Crop3	Green mustard	126.7	3.3	130	27.8
Crop4	Green mustard	106.7	3.3	285	26.7
Crop5	Green mustard	132.2	3.3	100	26.7
Crop6	Garland chrysanthemum	101.1	3.3	90	25.0
Total continuous vegetable		750.2	19.8	830	167.2

4. 結果と考察

モデルは土壌中の窒素の変化によってその有効性の確認を行った。モデルによるシミュレーション結果を表-2に示す。イネのケースでは、肥料投入に対して作物による吸収が90%近くを占め、また土壌窒素貯蔵量の減少からも窒素投入量は適正であると考えられる。グレープフルーツのケースは最も環境流出（leaching/runoff, de-nitrification）割合が低く、市場価値も高いため比較的バランスのとれた栽培様式となっている。野菜のケースは窒素の流出量が480kgと非常に多く、また土壌への蓄積と算定された窒素についても、大量の降雨によっては、環境に流出している可能性も考えられる。今後、収量との関係を考慮しながらシナリオ分析を行い、窒素投入量等の調整を行うことで、より持続可能な農業に近づくことが可能になると考える。

表-2 モデルのシミュレーション結果

Nitrogen balance		Rice	Grapefruit	Vegetable
Input (kg N ha ⁻¹)	Fertilizer N input	200.0	560.3	1066.0
	Rainfall N input	4.8	4.8	4.8
	Irrigation N input	46.4	1.4	48.1
Output (kg N ha ⁻¹)	N leaching & runoff	105.1	82.5	129
	N taken by crop	178.6	142.8	133.1
	De-nitrification	27.3	197.1	451.7
	Change in N storage	-55.4	159.9	355.3