

一次元ヨシ-湿地土壌系窒素循環モデルによる 湿地の窒素除去能力予測の試み

A TRIAL TO CALCULATE THE NITROGEN REMOVAL EFFICIENCY
WITH THE ONE DIMENSIONAL NITROGEN BUDGET MODEL
ON THE REED-WETLAND SOIL SYSTEMS

湯谷賢太郎¹・田中規夫²・山内孝太³・浅枝隆⁴

Kentaro YUTANI, Norio TANAKA, Kota YAMAUCHI, Takashi ASAEDA

¹正会員 工修 埼玉大学助手 工学部建設工学科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

²正会員 工博 埼玉大学助教授 工学部建設工学科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

³学生会員 工学士 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

⁴正会員 工博 埼玉大学大学院教授 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

A simple one-dimensional model which can evaluate the fate and transport of nitrogen in wetland soil-vegetation systems was developed to calculate the nitrogen removal efficiencies of reed bed wetlands. Seasonal variations of temperature, seasonal variations of nitrogen uptake by vegetation, vertical biomass distribution in root, and oxygen transport by vegetation were considered in the model. Field observations were conducted to determine some model parameters, although almost of all parameters were adopted from published literature data in Europe and North America. The model calculation results for the concentrations of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ in the soils were about ten and two times larger than that of observations results. However, the calculation results for nitrogen removal efficiencies indicated the same trends compared with previous studies.

Key Words : reed wetland, wetland soil, nitrogen, nitrogen removal, model

1. はじめに

ヨシやガマ, マコモといった抽水植物の生息する湿地は, 生態学的に価値が高いだけでなく, 優れた水質浄化能力があり, 特に西欧や北米地域において水質浄化施設として研究・実用化されている¹⁾. わが国においても, 近年, 自然の持つ浄化能力が注目され, いくつかの植生浄化施設が試験・運用されている²⁾.

植生湿地を水質浄化に用いるためには, その設計段階において, 計画流入水濃度から計画流出水濃度を得るための適切な施設の種類や規模, そして運用方法を決める必要がある¹⁾. 特に施設の規模は, 湿地の水質浄化能力に大きく影響するため, 十分検討しなければならない. この検討段階において, モデルによる検討が効果を発揮する. Kadlec & Knight (1996)³⁾は, そのような検討に用いることのできる簡単なモデルをいくつか紹介しているが, それらのモデルはブラックボックス型モデルであり, 季節による植生の生長度合いの違いや気温の変化,

さらに土壌内の窒素動態は考慮されていない. 湿地の浄化能力は植物や土壌と水層との物質収支で決まるため, それらを見逃して適切なモデルを構築することはできない. そこで本研究では, 湿地の水質浄化能力を議論する際に一般的な窒素と, 植生浄化施設でよく用いられるヨシに着目し, 気温の変化と植生による影響を考慮した, 簡単な一次元の土壌内窒素動態モデルを開発し, そのモデルを用いて湿地による水質浄化能力を計算することを試みた.

まず, 湿地における植生-土壌系内の窒素循環を考慮したモデルの構築と観測を行った. モデルの構築に際しては, 多くのパラメータを決定する必要があるが, 残念ながらわが国においては, それらのパラメータは十分整理されていない. そこで本研究では, 非常によく整理されている海外の文献からパラメータを収集し, モデルを構築することとした. しかし, いくつかのパラメータに関しては, 実際に観測を行い決定した. その後, モデルによる計算結果と, 実際に観測された土壌内の窒素濃度を比較して, モデルの適応可能性と, 今後の課題を検討

した。最後に、構築されたモデルを用い、湿地の窒素除去能力の予測計算を行った。

2. 方法

(1) ヨシ-湿地土壌系窒素循環モデル

モデルはヨシ窒素吸収量評価サブモデルと土壌内窒素動態評価サブモデルから成る。土壌内の窒素は有機態窒素 (PON), 可溶有機体窒素 (SON), アンモニア態窒素 (NH₄), 土壌粒子に吸着しているアンモニア態窒素 (NH₄sol), 硝酸態窒素 (NO₃) に分けて扱い, それぞれの存在量は, 土壌の空隙率を考慮せず, 一次元土壌の計算によく用いられる [g-N/m²] の単位を用いて扱うこととした。

ヨシ窒素吸収量評価サブモデルは, 既往のヨシ生長モデル^{3) 4)}を基に, ヨシによる日々の土壌からの窒素吸収量とヨシによる土壌中への酸素輸送が評価可能なように改良した。本来, 植物による無機栄養の吸収は呼吸量に依存する⁵⁾。しかし, 本モデルでは, ヨシ生長モデルの利用を考え, ヨシの生産量から窒素吸収量を求める方法を採用した。湯谷・浅枝 (2002)⁶⁾によるヨシ地上部現存量をヨシ生長モデルで再現し, それにより求められた日々の生産量と窒素現存量の変化量を比較することにより, 以下のような関係式を得た ($R^2=0.871$)。

$$\begin{aligned} \text{窒素吸収量 [g/m}^2\text{/d]} = \\ 0.0047 \times \text{ヨシ生産量 [g/m}^2\text{/d]} + 0.2781 \end{aligned} \quad (1)$$

また, 土壌からの窒素吸収速度は以下のように定義した。

$$\text{vegupNH}_4 = \text{Ndemand} \cdot \text{rootrate}_{(i)} \cdot \frac{[\text{NH}_4]_{(i)}}{[\text{NH}_4]_{(i)} + [\text{NO}_3]_{(i)}} \quad (2)$$

$$\text{vegupNO}_3 = \text{Ndemand} \cdot \text{rootrate}_{(i)} \cdot \frac{[\text{NO}_3]_{(i)}}{[\text{NH}_4]_{(i)} + [\text{NO}_3]_{(i)}} \quad (3)$$

ここに, vegupNH_4 , vegupNO_3 はそれぞれアンモニア態窒素および硝酸態窒素の吸収速度 (g/time), Ndemand はヨシの窒素要求速度 (g/hour), rootrate は観測により得られた, 第*i*層の根の割合である (後述)。また, 以降下付の(*i*)は第*i*層の物質質量であることを表している。

Martine & Reddy (1997)⁷⁾は湿地内における一次元窒素動態を水層・好気層・嫌気層 I (植物の根が存在する)・嫌気層 II (植物の根は無い) に分け, 湿地内における窒素の沈降と拡散をモデルを用いて解析した。モデルでは, 酵素加水分解, 無機化, 硝化, 土壌粒子へのアンモニア態窒素の吸着・離脱, アンモニア態窒素の揮発, 脱窒, および, 植物による同化と溶出が考慮されている。しかし, 彼らのモデルには, 温度変化による反応定数の変化や, 植物の生長に伴う窒素吸収量の変化などが考慮

されておらず, 年間変化を計算するには不十分であった。そこで, 本研究では, 彼らのモデルを基に, ヨシの生長・通気と気温の変化を考慮し, さらに, ヨシの根の分布を考慮してモデルを改良した。

モデルはN層からなり, それぞれが水層, 好気土壌層, 嫌気土壌層に割り振られる。本研究で用いる, 第*i*層の窒素動態の支配方程式は以下ようになる。

$$\begin{aligned} \frac{d\text{PON}_{(i)}}{dt} = & K_{\text{set}(i)} \cdot \text{PON}_{(i-1)} + ad \\ & - K_{\text{set}(i)} \cdot \text{PON}_{(i)} - K_{\text{enz}(i)} \cdot \text{PON}_{(i)} \\ & + f_{\text{PON}(i)} \cdot \text{flowin} + f_{\text{PON}(i)} \cdot \text{flowout} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\text{SON}_{(i)}}{dt} = & K_{\text{enz}(i)} \cdot \text{PON}_{(i)} - K_{\text{mine}(i)} \cdot \text{SON}_{(i)} \\ & + \text{flux}(\text{SON}_{(i)}, \text{SON}_{(i+1)}) + \text{flux}(\text{SON}_{(i-1)}, \text{SON}_{(i)}) \\ & + f_{\text{SON}(i)} \cdot \text{flowin} + f_{\text{SON}(i)} \cdot \text{flowout} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\text{NH}_4_{(i)}}{dt} = & K_{\text{mine}(i)} \cdot \text{SON}_{(i)} - K_{\text{nit}(i)} \cdot \text{NH}_4_{(i)} \\ & + \text{flux}(\text{NH}_4_{(i)}, \text{NH}_4_{(i+1)}) \pm \text{flux}(\text{NH}_4_{(i-1)}, \text{NH}_4_{(i)}) \\ & - \text{vegupNH}_4 - \text{volatilization} \pm \text{soilexchange} \\ & + f_{\text{NH}_4(i)} \cdot \text{flowin} + f_{\text{NH}_4(i)} \cdot \text{flowout} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\text{NO}_3_{(i)}}{dt} = & K_{\text{nit}(i)} \cdot \text{NH}_4_{(i)} - K_{\text{den}(i)} \cdot \text{NO}_3_{(i)} \\ & + \text{flux}(\text{NO}_3_{(i)}, \text{NO}_3_{(i+1)}) + \text{flux}(\text{NO}_3_{(i-1)}, \text{NO}_3_{(i)}) \\ & - \text{vegupNO}_3 + f_{\text{NO}_3(i)} \cdot \text{flowin} + f_{\text{NO}_3(i)} \cdot \text{flowout} \end{aligned} \quad (7)$$

ここに, K_{set} , K_{enz} , K_{mine} , K_{nit} , K_{den} はそれぞれPON沈降速度係数, 酵素加水分解速度係数, 無機化速度係数, 硝化速度係数, 脱窒速度係数である。水層や土壌中の植物枯死体からPONが生成される速度 ad は以下のように表される。

$$ad = \text{veglit}N_{(i)} \cdot \text{decayk} \cdot \theta_{\text{decay}}^{(T-20)} \quad (8)$$

ここに, $\text{veglit}N$ は観測により得られた, 植物の枯死体等に含まれる窒素量, decayk は分解速度係数, θ_{decay} はアレニウス定数である。 f_{PON} , f_{SON} , f_{NH_4} , f_{NO_3} はそれぞれ, 水層では1, それ以外では0となる。 flux は上下の層間での物質拡散量を表し, 以下のように表される。

$$\begin{aligned} \text{flux}(\text{storage}_{(i)}, \text{storage}_{(i+1)}) = \\ \frac{D_{x(i)} \{ (\text{storage}_{(i)} / \text{depth}_{(i)}) - (\text{storage}_{(i+1)} / \text{depth}_{(i+1)}) \}}{(\text{depth}_{(i)} + \text{depth}_{(i+1)}) / 2} \end{aligned} \quad (9)$$

ここに, $\text{storage}_{(i)}$ は第*i*層における物質質量, $\text{depth}_{(i)}$ は第*i*層の厚さ (m) $D_{x(i)}$ は物質*x*の第*i*層における拡散速度係数である。また, flowin および flowout は系内への物質流入速度および流出速度を表す。アンモニアの揮発量 volatilization は以下のように表される。

$$volatilization = 5.8 \cdot pH^{(pH-10)} \cdot \theta_{vol}^{(T-20)} \cdot NH4_{(i)} \quad (10)$$

ここに、 θ_{vol} は温度の影響を表すアレニウス定数、 T は温度である。土壌粒子へのアンモニア態窒素の吸着・離脱速度 $soilexchange$ は、以下のように表される。

$$soilexchange = ((partitionk \cdot NH4sol_{(i)}) - NH4_{(i)}) \cdot specrate \quad (11)$$

ここに、 $partitionk$ は土壌表面積係数、 $specrate$ は置換の時間的遅れを表現する定数である。なお、加水分解速度係数 K_{enz} 、無機化速度係数 K_{mine} は温度の影響を考慮し、硝化速度係数 K_{nit} 、脱窒速度係数 K_{den} は温度の変化とヨシの根の存在量を考慮し、実際には以下に示すような式で表される。

$$K_{enz(i)} = K_{enz20(i)} \cdot \theta_{enz}^{(T-20)} \quad (12)$$

$$K_{mine(i)} = K_{mine20(i)} \cdot \theta_{mine}^{(T-20)} \quad (13)$$

$$K_{nit(i)} = K_{nit20(i)} \cdot \min(1.0, \alpha_{root} \cdot rootbiomass_{(i)} \cdot rootrate_{(i)}) \cdot \theta_{nit}^{(T-20)} \quad (14)$$

$$K_{den(i)} = K_{den20(i)} \cdot \{1 - \min(1.0, \alpha_{root} \cdot rootbiomass_{(i)} \cdot rootrate_{(i)}) \cdot \theta_{den}^{(T-20)}\} \quad (15)$$

ここに、 K_{enz20} 、 K_{mine20} 、 K_{nit20} 、 K_{den20} はそれぞれ、20℃の時の酵素加水分解速度係数、無機化速度係数、硝化速度係数、脱窒速度係数、 θ_{enz} 、 θ_{mine} 、 θ_{nit} 、 θ_{den} はアレニウス定数である。 α_{root} は酸素輸送量に関する根の影響を表す定数、 $rootbiomass$ はヨシ窒素吸収量評価サブモデルにより計算される根の量である。

モデルは時間間隔0.1時間の条件で連立微分方程式をルンゲクッタ法を用いて数値的に解いた。各層の厚さは水層0.05m、好気層0.01m、好気層直下の嫌気層0.04m、それ以下の嫌気層0.05mとした。境界条件として、最上部と最下部で拡散なしの条件を設定した。流入水の条件は、観測結果を三角関数で近似したものを用いた。また、後述する浄化能力の効果を計算する際の流入水の条件は、同じ関数を用い、年間の平均濃度が条件に合うように調節した。表-1に本モデルで用いたパラメーター一覧を示す。また、モデルでの計算では、同条件下で数年間計算し、定常になったものを解とした。

(2) 自然湿地における土壌内窒素量の観測

構築したモデルのいくつかのパラメータの決定と検証のため、自然湿地において、ヨシと土壌の観測を実施した。

観測は埼玉県南部に位置する湿地である、「見沼たん

表-1 パラメーター一覧

パラメータ	値	単位	出典
K_{set}	水層内	1	/h 7)
	水層から好気層	0.04	/h 7)
	好気層内	0.02	/h 7)
	好気層から嫌気層	4.20×10^{-4}	/h 7)
	嫌気層内	2.10×10^{-5}	/h 7)
K_{enz}	水層内	6.00×10^{-7}	/h 7)
	好気層内	5.69×10^{-7}	/h 7)
	嫌気層内	5.28×10^{-5}	/h 7)
K_{mine}	水層内	3.00×10^{-4}	/h 7)
	好気層内	6.30×10^{-4}	/h 7)
	嫌気層内	2.10×10^{-4}	/h 7)
K_{nit}	水層内	4.20×10^{-3}	/h 7), 8)
	好気層内	0.05	/h 7), 8)
K_{den}	水層内	0.08	/h 7)
	好気層内	6.90×10^{-5}	/h 7)
$decayk$	水層内	6.00×10^{-6}	/h 7)
	好気層内	6.90×10^{-5}	/h 7)
	嫌気層内	2.08×10^{-5}	/h 7)
θ_{decay}		1.1	8)
θ_{vol}		1.1	8)
θ_{enz}		1.07	8)
θ_{mine}		1.07	8)
θ_{nit}		1.07	8)
θ_{den}		1.07	8)
D_{SON}		9.57×10^{-7}	m ² /h 7)
D_{NH4}		2.44×10^{-6}	m ² /h 7)
D_{NO3}		5.80×10^{-6}	m ² /h 7)
$partitionk$		1.375	g/g 7)
$specrate$		0.5	/h 7)
α_{root}		5×10^{-4}	9)

ぼ」にて行った。観測はおよそ一月に一回行い、現地において、ヨシの高さ、密度をそれぞれ10回ずつ毎回の調査で計測した。ヨシの試料は0.25m×0.25mの範囲を深さ約0.30mまで採取した。地下茎は深さ0.30m以深にも多く存在していたが、採取が困難なため根が多く分布する0.30mまで採取することとした。観測結果より、地表より0.30mまでの深さに、根の90%以上が存在していると考えられた。地上部は採取した後、実験室に持ち帰り乾燥重量を測定した。地下部は、土壌内でのバイオマスの鉛直方向の分布を計測するために、現地において深さ0.05mごとに包丁を用いて切り分けた。その後、実験室に持ち帰り、地下茎と根に分けて乾燥重量を測定した。

土壌は、塩化ビニル管（内径56mm、長さ1m）と傘袋を組み合わせたコアサンプラーを用い、鉛直方向に乱さないように採取した。採取した土壌コアは、現地にて0.05m間隔で切断してビニル袋に入れ、冷蔵して持ち帰った。採取した土壌は実験室に持ち帰り、全窒素含有量、アンモニア態窒素含有量、硝酸態窒素含有量を測定した。

ヨシ湿地に流入する小川の水を、年5回採取し、全窒素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素を測定した。湿地からの流出場所ははっきりしておらず、流出水を採取する

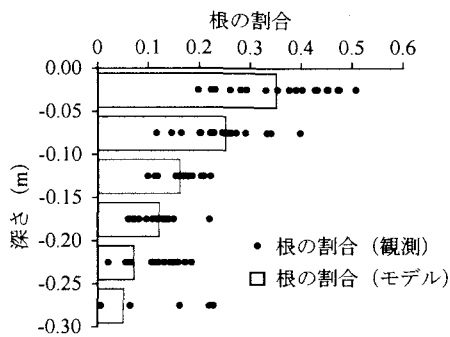


図-1 深さごとの根の割合とrootrateの値

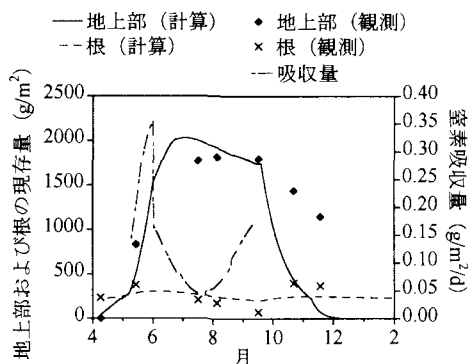


図-2 ヨシ現存量の季節変化およびモデルによる再現計算とヨシの窒素吸収量の計算結果

ことはできなかった。

3. 結果と考察

(1) ヨシ観測結果とヨシ窒素吸収量評価サブモデル

a) 土壌内における根の分布

図-1に観測で得られた根の分布を示す。根は80%程度が0~0.15mの深さに分布していた。この観測結果を基に、モデルに用いるrootrateの値を決定した。図-1にはモデルに用いたrootrateの値も示してある。ただし、モデルにおいては30cmの深さまでに全ての根が存在しているとして計算している。

b) ヨシ現存量と窒素吸収量

図-2に、観測により得られたヨシ現存量の季節変化、およびヨシ窒素吸収量評価サブモデルによる再現計算と、同条件下におけるヨシの窒素吸収量の計算結果を示す。観測により得られたヨシ地上部現存量の季節変化は、モデルにより概ね再現されたものの、バイオマスが最大となる時期に違いが生じた。これは、計算の簡略化のため、本モデルにおいてはモデル化した気温波形を用いたために生じた可能性がある。事実、観測を行った2003年の7月の月平均気温は過去20年間の7月の月平均気温よりも3℃程度低く、ヨシの生長に影響を与えた可能性も考えられる。一方で、根の現存量の観測結果は、モデルによりある程度再現されており、ヨシ窒素吸収量評価サブモ

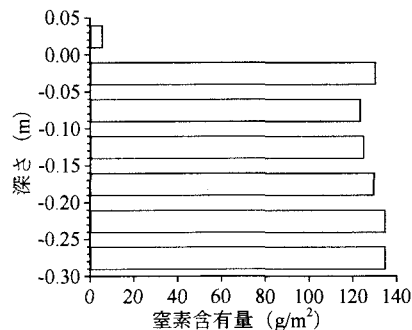


図-3 レイヤーごとの全窒素含有量

デルにより計算された根の量を、土壌内窒素動態評価サブモデルに用いることの妥当性を示している。

ヨシによる窒素吸収量は、春期のヨシの生長にあわせるように増加し、生長期の終了とともに急激に減少した。その後8月から10月にかけて再び増加する傾向を示した。生長期の窒素吸収量の増加は地上部の生長のためと考えられ、Yamasaki et al (1992)¹⁰⁾が同様な現象を確認している。一方老化期前の増加は、来年度への貯蔵と、地下部生長のためであると考えられる。

c) 土壌内窒素量の観測とモデルによる検証

図-3に水層および土壌のリターおよび細粒物に含まれる全窒素量の測定結果を示す。土壌内の全窒素含有量に深さごとの違いは見られなかった。また、有意な年変化も見られなかったため、モデルにおいては、土壌の全窒素含有量は1年を通して一定値として与えた。

図-4には土壌内窒素の年変化の観測結果とモデルによる検証結果を示す。採取した土壌は5cmごとに分けて分析したが、土壌内窒素の年変化を分かりやすく表現するため、図には0.25mまでの積算値として示した。アンモニア態窒素濃度の計算値は、観測値の10倍程度高い値となった。これは、土壌内からのPON生成速度が実際よりも高かったためと考えられる。一方で、観測値はばらつきが大きく、季節変化がつかみにくい結果となった。これは、植生のある自然土壌の分析の困難さを示すものであり、精度を上げる工夫が必要であろう。他方、硝酸態窒素濃度に関しては、計算値と観測値の差が2倍程度となり、比較的同程度の値となった。観測値の季節変化は、アンモニア態窒素よりも傾向がはっきりとし、7月ごろに最小、9月に最大となる変化をしているものの、10月に特に低い値を示しており、傾向を分かりにくくする要因となっている。そのため、アンモニア態窒素の場合と同様に分析精度を上げる工夫が必要であろう。

図-5には、深さごとに示した毎回の土壌窒素濃度分析結果とモデルによる計算結果を示す。ただし、紙面の都合上、4回分の観測結果のみ示してある。濃度は、どちらも0.05m内に含まれる窒素量で示した。アンモニア態窒素濃度の分布は、一年を通して浅部から深部まで同程度、もしくは浅部の方が高濃度であることが見て取れ

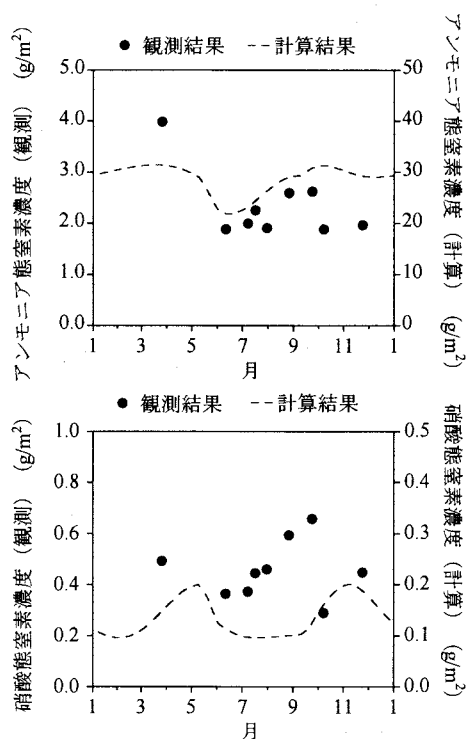


図-4 アンモニア態窒素（上）と硝酸態窒素（下）濃度の季節変化の観測結果および計算結果

る。一般的に、植生の生えていない湖沼の底質内のアンモニア態窒素濃度は、浅部で低く深部で高くなり、計算結果のような傾向を示すことが知られているが⁸⁾、本観測では逆の傾向を示した。その理由として、図-3で示した深さごとの全窒素含有量に深さによる違いは見られなかったものの、土壌の浅い部分に易分解性の有機物が蓄積しており、それが分解してアンモニア態窒素濃度が上昇したことも考えられる。

他方、硝酸態窒素濃度は、植生の生えていない湖沼の底質では、表面の好気層のみで高い値を示し、深くなるに従って急減する⁸⁾。同様の結果が3月26日の観測で得られているが、それ以降の観測では、深部まで硝酸態窒素が比較的多く存在していた。これは、ヨシが土壌中に酸素を送ることによって、根の周囲が好氣的になり、硝酸態窒素が形成されていることを示している。一方で、計算結果では、3月の時点で既に深部でも硝酸態窒素が存在し、さらに、深さ0.2m程度の部分にピークが確認できた。これは、本計算では、酸素の輸送量が根の現存量に比例すると仮定して計算したためであり、実際の現象は根の表面積に比例するために生じたものと考えられる。定量的なデータを示すことは困難であるが、実際に地表付近には細かい根が多く存在しており、表面積を増やす要因となっていたと考えられる。さらに、今回の計算では、ヨシの通気能力は一年を通じて一定であると仮定し、酸素輸送に関わる係数 α_{root} が一年を通じて一定として計算した。しかし、3月の観測結果と計算結果を比べる限りでは、ヨシの酸素輸送能力に季節変化があること

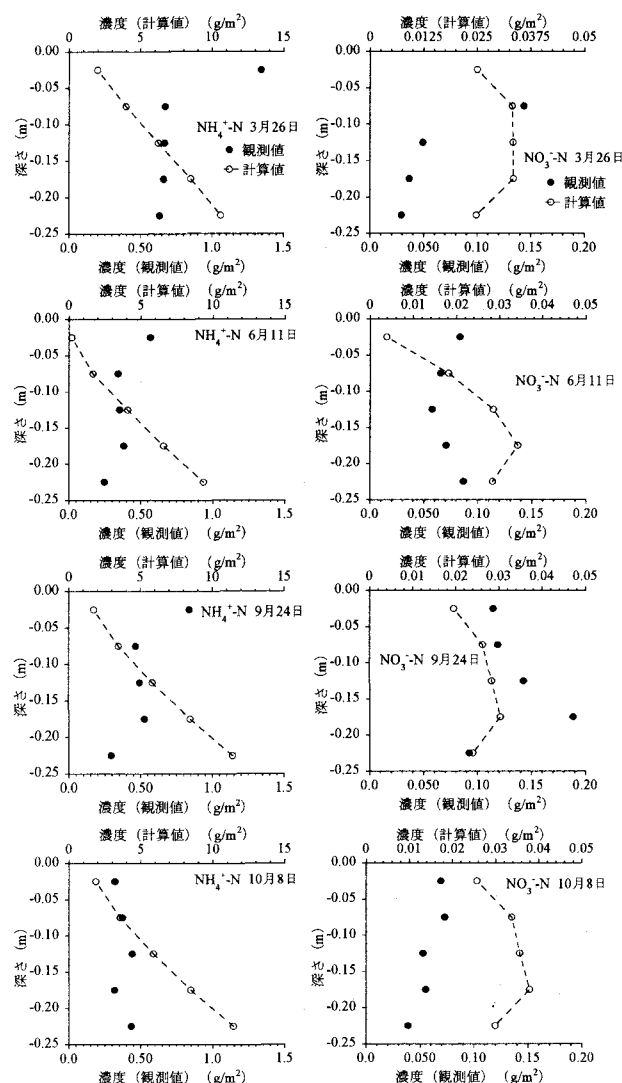


図-5 深さごとの土壌アンモニア態窒素（左）と硝酸態窒素（右）濃度分析結果とモデルによる計算結果

が伺える。

また、本観測地は近接する農地（田圃）の影響を受けており、水位が地表面と同程度まで低下することがある。このような、年間を通しての水位変化が、アンモニア態、硝酸態窒素濃度の観測結果に影響を及ぼした可能性もある。

d) モデルを用いたヨシ湿地水質浄化能力予測

構築した一次元のヨシ-湿地土壌系窒素循環モデルを連結することにより、ヨシ湿地の水質浄化能力の予測を試みた。モデルを10個連結し、仮想的な水路とした。その上で、水の流れは上部の水層のみとし、拡散は考えずに移流のみが起こる条件で計算を行った。計算は流入水の平均全窒素濃度を10, 20, 30mg/lに変えて行い、流速を変えることによってHydraulic Loading Rate (HLR)の違いによる、湿地の水質浄化能力の違いを比較した。HLRは湿地の浄化能力を比較する際によく用いられ、以下のように定義される。

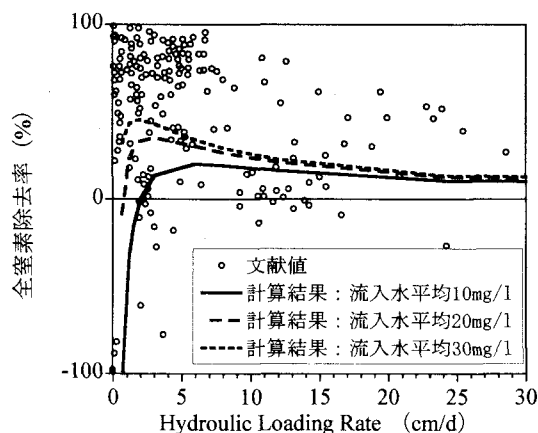


図-6 モデルによるヨシ湿地水質浄化能力の計算結果と文献値¹¹⁾との比較

$$HLR = \frac{\text{湿地水塊体積}}{\text{湿地面積} \cdot \text{滞留時間}} \quad (16)$$

また、計算結果はHammer & Knight (1994)¹¹⁾のデータと比較した。

図-6には、計算結果を文献値のデータと比較したものを示す。計算結果は、文献値と同様な傾向を示した。図より、ヨシ湿地を用いての窒素除去は、HLRが小さく（滞留時間が長く）なるにつれ、湿地内での除去が進み、除去率があるところまでは増加することが分かる。しかし、長時間の滞留時間は土壌内からの溶出が起き、マイナスの作用を及ぼす恐れがあることもわかる。HLRが24付近で各濃度における窒素除去率がほぼ収束してしまうのは、本モデルにおいて用いた土壌の窒素量によるものであると考えられる。また、流入水の窒素濃度の違いにより、窒素除去率が最大となるような最適なHLRが異なることが分かる。

4. 結論

本研究で構築したモデルを用い、海外の文献値を用いて国内の湿地の窒素動態を計算したところ、土壌中の分布傾向および濃度が十分再現されなかった。そのため、国内湿地において、その窒素動態をモデルで検証するためには、国内にあるデータをモデルに使えるように整理するだけでなく、実際に計算を行う対象地固有のパラメータの分析も行う必要がある。一方、モデルを用いて湿地の水質浄化機能を計算したところ、文献値と同様な傾向を示した。このことから、本研究で構築したような一次元の土壌モデルを湿地の水質浄化能力の評価に用

いることは有効であるといえる。さらに、適切なモデルパラメータの設定や二次元流れへの拡張等を行えば、水質浄化施設を計画する場合において、そこに流れ込む水質の窒素濃度から、土壌内への窒素の蓄積や流出水濃度を計算し、最適な滞留時間（HLR）から、施設規模や形状を提案することができるのではないかと考えられる。

謝辞：本研究は（財）河川環境管理財団の河川整備基金助成事業によって実施しました。また、（財）河川環境管理財団より資料の提供を受けました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Kadlec, R.H. and Knight, R.L.: *Treatment wetlands*, CRC Press, 1996.
- 2) （財）河川環境管理財団河川環境総合研究所：植生浄化施設計画の技術資料，河川環境総合研究所資料第5号，2002.
- 3) Asaeda T. and Karunaratne S.: Dynamic modeling of growth of *Phragmites australis*: model description, *Aquatic Botany*, Vol.67, pp.301-318, 2000.
- 4) 湯谷賢太郎，浅枝隆，田中規夫，Shiromi Karunaratne：観測と再生長モデルによる刈取られたヨシ *Phragmites australis* の回復過程の評価，応用生態工学，第6巻2号，pp.177-190，2004.
- 5) Larcher, W：植物生態生理学第2版，佐伯敏郎，館野正樹監訳，シュプリンガー・フェアラーク東京，2004.
- 6) 湯谷賢太郎，浅枝隆：ヨシ (*Phragmites australis*) の地下茎年齢が地下茎物質貯蔵特性に及ぼす影響，水環境学会誌，第25巻第11号，pp.685-688，2002.
- 7) Martin, J.F. and Reddy, K.R.: Interaction and spatial distribution of wetland nitrogen process, *Ecological Modeling*, Vol.105, pp.1-21, 1997.
- 8) Reddy, K.R. and Partrick, W.H.: Nitrogen transformation and loss in flood soil and sediments, *CRC Critical Reviews in Environmental Control*, Vol.13, pp.273-309, CRC Press, 1984.
- 9) Armstrong, J., Armstrong, W. and Beckett P.M.: Measurement and modelling of oxygen release from roots of *Phragmites australis*. In: Cooper PF, Findlater BC, editors, *Constructed wetlands in water pollution control*, London, Pergamon Press, pp.41-52, 1990.
- 10) Yamasaki, S., Kimura, M. and Yoneyama, T.: Early withering of lower leaves of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. in a eutrophic stand: role of oxygen concentration, fate of nitrogen and nitrogen uptake by the plant, *Aquatic botany*, Vol.42, pp.143-157, 1992.
- 11) Hammer, D.A. and Knight, R.L.: Designing constructed wetlands for nitrogen removal, *Wat. Sci. Tec.*, Vol.29, No.4, pp.15-27, 1994.

(2004.9.30 受付)