

北海道北部の森林流域における生物地球化学プロセスモデルの適用

柴田英昭 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

森林生態系の生物地球化学プロセスは時空間的に大きな変動を示すことから、プロセスモデルを用いたシミュレーション研究は、さまざまな自然および人為攪乱下における生物-非生物相互作用系を含む物質循環過程を理解する上で非常に有用である。実測値と予測値との比較に基づきながら解析を進めることで、フィールドでの実測の難しい生態系パラメーターの推定や、環境変化に対する生物地球化学プロセスの時系列変化を将来予測することが可能である。とりわけ、生態系の窒素や炭素や水の動態は密接な相互関係のもとに変動する傾向が知られているので、地球温暖化に対する森林生態系の炭素固定機能や、大気汚染の増大に対する生態系の水質保全機能、森林伐採に伴う河川水質変化などを解明するためには、生態系内の炭素・窒素・水リネージを含んだモデルを使用することが重要である。

PnET-CN モデル(Aber *et al.* 1997)は森林生態系の水、炭素、窒素の相互作用を予測するためのシミュレーションモデルである。葉の窒素含有率と最大光合成速度との関係に基づいた樹木生理過程を中心として構成されている PnET-CN モデルは、月単位での純一次生産量や土壌窒素無機化速度、土壌からの窒素溶脱速度などを予測することができる。

本研究では、総合地球環境学研究所 5-2 プロジェクトにおける環境質応答予測モデル構築の一環として、北海道北部に位置する北海道大学雨龍研究林を対象に PnET モデルを適用し、その有用性や問題点、改善点について検討を行った。雨龍研究林の林相は天然の冷温帯針広混交林であり、部分的に択伐施業やごくまれな台風被害の影響を受けている。気候は冷温帯から亜寒帯の移行帯に位置しており、年間降水量は約 1,400mm、年平均気温 2.5℃である。また、年降水量のほぼ半分は降雪として供給されている。

雨龍研究林内の実験流域において、月別の気候データ(日最高気温、日最低気温、降水量、光合成有効放射量)および大気窒素沈着(NO_3^- および NH_4^+)を入力変数として PnET モデルを用いた河川 NO_3^- 濃度のシミュレーションを行った。2003~2004 年にかけて実測された河川水 NO_3^- 濃度は、融雪出水時にピークが認められ、月別濃度平均値は約 1~12 $\mu\text{mol L}^{-1}$ の間で変動していた。PnET-CN モデルは実測の河川水 NO_3^- 濃度の季節変動をおおむね予測することができたものの、積雪期間はやや過大評価を、融雪時の濃度ピーク後にはやや過小評価をする傾向があった。大気窒素沈着の積雪への蓄積と放出を組み込んだ修正 PnET モデルを用いると、河川水 NO_3^- 濃度予測が改善され(Figure 1)、実測値の季節変化を有意に説明することができた(Figure 2, $P < 0.01$)。また、PnET モデ

ルを用いて、森林伐採が河川水 NO_3^- 濃度変化に及ぼす影響について予測したところ、伐採後の濃度上昇レベルや、伐採前のバックグラウンド濃度への回復時間は森林伐採の土地面積割合に大きく影響されることが示された(Figure 3, 4)。モデルのシナリオ分析を行うことで、大気の大気二酸化炭素濃度上昇や大気窒素沈着の増加も河川への NO_3^- 流出に大きく影響することも示唆された(Figure 5)。さらに、河川 NO_3^- 濃度の予測値と実測値の季節変化を比較すると、土壌から河川への NO_3^- 流出に時間的な遅れがあることが示唆され、土壌から河川にかけての水文プロセスを考慮に入れたモデルの修正が必要であると考えられた。

Reference

Aber, J.D., S.V. Ollinger, and C.T. Driscoll (1997): Modeling nitrogen saturation in forest ecosystems in response to land use and atmospheric deposition. *Ecological Modelling*, **101**: 61-78.

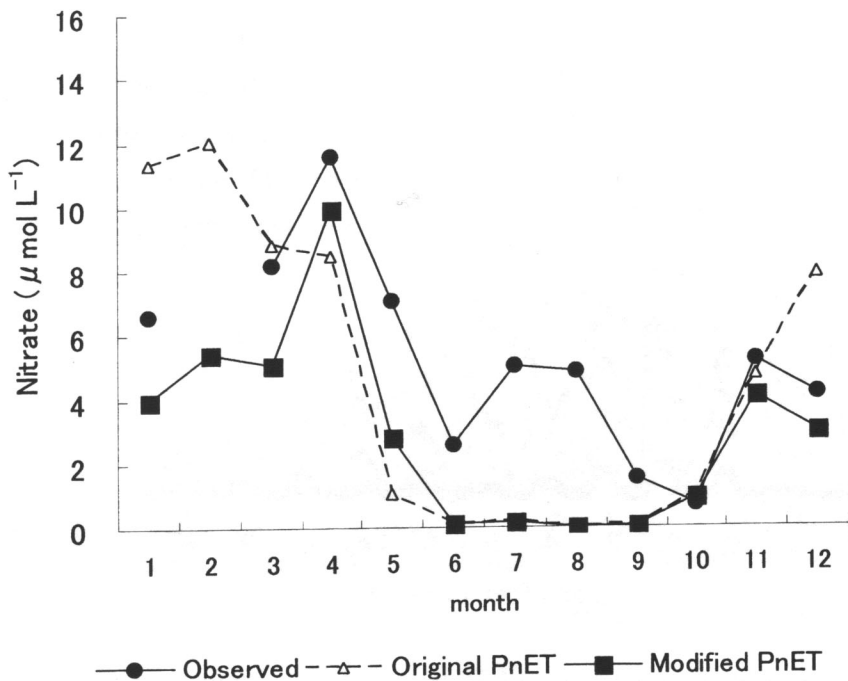


Figure 1. 泥川集水域（北海道大学雨龍研究林）内の溪流における月平均 NO_3^- 濃度の実測値と計算値（2003-2004 年）。

Modified PnET モデルは、冬期の積雪への窒素の蓄積と溶出の過程を考慮したもの。

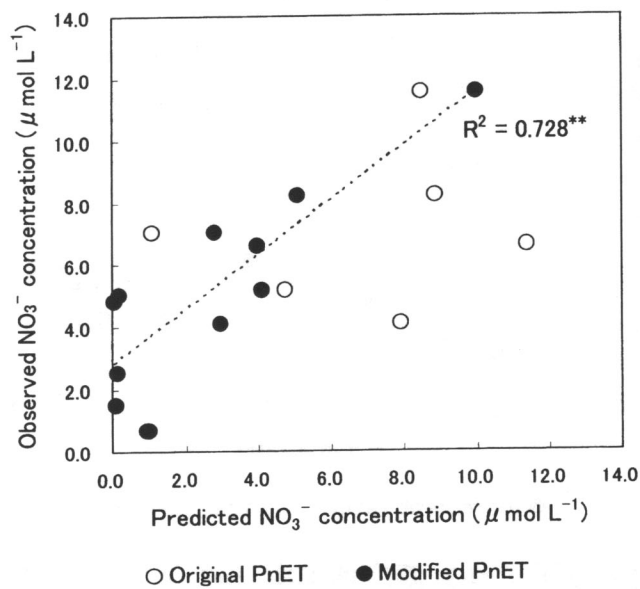


Figure 2. 渓流水中の月平均 NO_3^- 濃度の実測値（縦軸）と計算値（横軸）の比較。

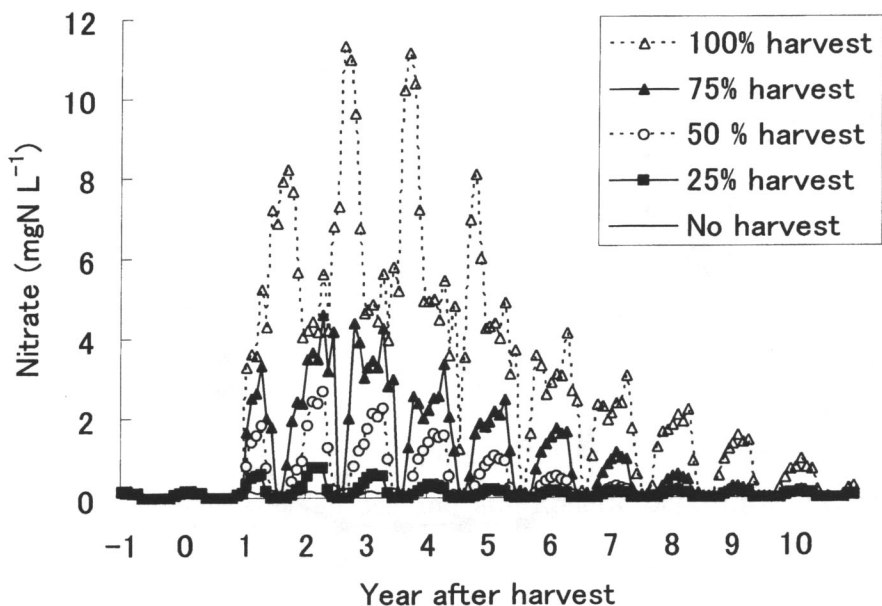


Figure 3. 森林伐採の強度（伐採率）に対する溪流 NO_3^- 濃度の計算値の応答。
モデルは、オリジナルの PnET-CN を使用し、入力データは雨龍研究林のものをを用いた。

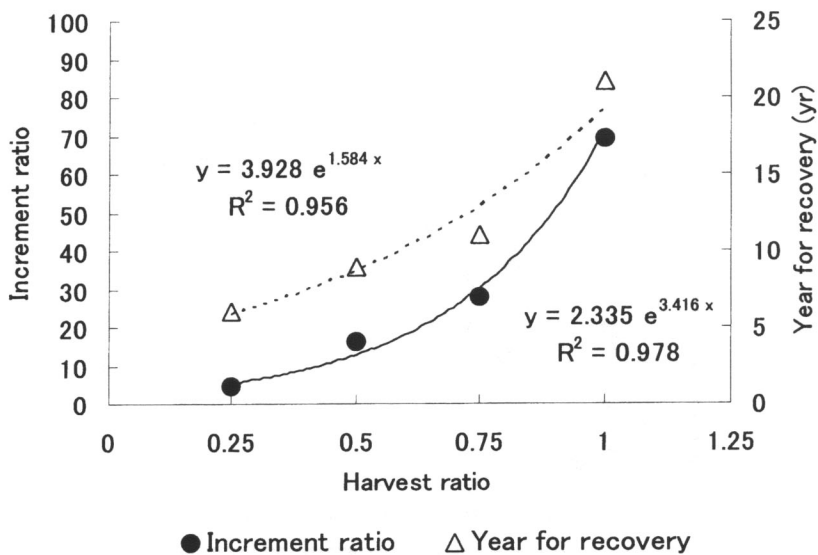


Figure 4. 伐採強度に対する溪流 NO_3^- 濃度増加率（●）と回復に要する時間（▲）の応答。
モデルは、オリジナルの PnET-CN を使用し、入力データは雨龍研究林のものをを用いた。

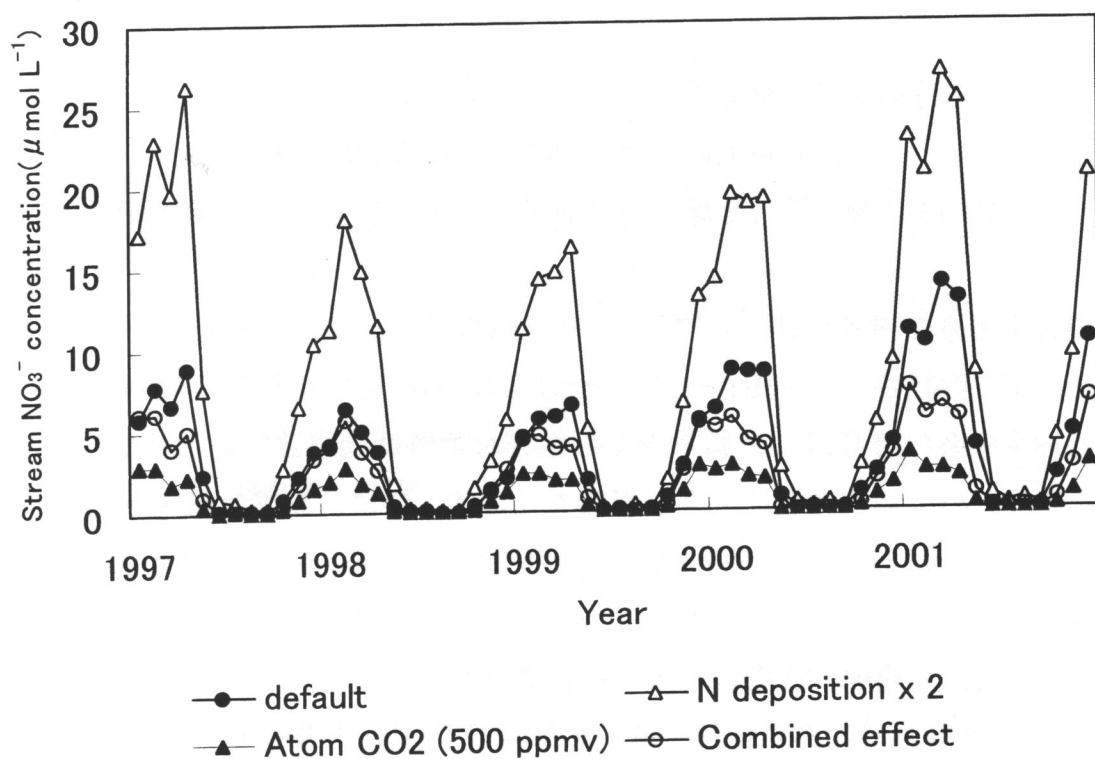


Figure 5. 溪流 NO_3^- 濃度に対する大気窒素沈着量の倍加、大気 CO_2 濃度の上昇 (500ppmv) およびその両方の影響シミュレーション結果.

モデルは、オリジナルの PnET-CN を使用し、入力データは雨龍研究林のものを用了。