

朱鞠内湖集水域における渓流水質予測モデルの適用と水文学的改良

勝山正則(総合地球環境学研究所) katsu@chikyu.ac.jp
 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)
 吉岡崇仁(京都大学フィールド科学教育研究センター)
 吉田俊也(北海道大学北方生物圏フィールド科学センター)
 小川安紀子(国立環境研究所)
 大手信人(東京大学農学生命科学研究科)

はじめに

流域環境の現状を把握し、環境変動に対する応答を予測するためには、現地観測に基づく知見を十分に反映したシミュレーションモデルの適用が有効な手段となる。日本では国土面積の 67%を森林が占め、森林伐採などのかく乱に対する生態系の応答や下流域の水質変動の予測を行うことが重要な課題である。本研究では北海道朱鞠内湖集水域上流部に位置する北海道大学雨龍研究林内において観測された渓流水質変動を再現するシミュレーションモデルを構築・適用し、さまざまな面積の森林伐採を仮定したときに朱鞠内湖に流入する溶存物質負荷量を計算した。

方法

対象流域は朱鞠内湖集水域全域および雨龍研究林内の泥川流域である。泥川流域の面積は 36.1km²、針広比率は 66:34 である。流域概要は Katsuyama et al.(2009)に詳しい。泥川流域の観測データを用いてモデルの有効性を検証した。

生態系物質循環過程および渓流水中の溶存物質濃度を記述する物質循環モデルとして北東アメリカで開発された PnET-CN モデル (Aber et al. 1997)を用いた。朱鞠内湖集水域近辺に気候および植生条件は北東アメリカ地域に比較的類似しているため、計算パラメータは Aber et al.(1997)のデフォルトパラメータである‘Northern Hardwood’と‘Spruce Fir’の値をそのまま用いた。計算の時間間隔は月単位である。また、流域の水文過程および河川水量を記述する水文モデルとして、HYCYMODEL(福島・鈴木,1986)を用いた。パラメータは雨龍研究林の雨量・流量データを再現する最適パラメータを試行錯誤によって決定した。計算間隔は日単位である。PnET-CN による月単位の溶質負荷量を、HYCYMODEL による日単位の流量で配分し、下流への負荷量を計算した。

仮定の森林伐採シナリオとして、泥川流域内の広葉樹、針葉樹、混交林を対象にそれぞれ大(20km²)、中(4km²)、小(0.8km²)の 3 パターンの伐採を想定し、バイオマス量と溪流の NO₃⁻濃度の変化を計算した。

結果と考察

水文モデルによる物質循環モデルの改良

PnET-CN モデルを泥川流域に適用した結果を図 1 に示す。渓流水の NO₃⁻濃度の季節変動は 11 月から 3 月にかけての冬期においては観測値とおおむね一致し、融雪期である 4 月に濃度が最大となった。これに対し 6 月から 9 月の夏期においては観測値で見られた濃度上昇が再現されなかった。この夏期の濃度上昇は北東アメリカの観測および計算結果では見られず、夏期に降水量が多いアジアモンスーン地域で観測される現象である(Ohte et al., 2001)。このような水文過程による影響がオリジナルの PnET-CN モデルでは十分に表現されない。そこで、PnET-CN からのアウトプットである NO₃⁻の負荷量を HYCYMODEL の地中での水循環量で配分するようにモデルを改良した。以下このモデルを PnET+HYCYMODEL とする。モデルの改良の結果(図 1)、観測値で見られた冬期の濃度上昇とともに夏期の濃度上昇も良好に再現された。このことは、積雪期に生成された NO₃⁻が、流域内に滞留する地下水で輸送されるために生じる流出遅れを PnET-HYCYMODEL によって表現できていることを意味する。したがって、流域水文過程を考慮した物質循環モデルの改良は、より広い気象条件において適用可能なモデルの構築において有用な手法であるといえる。

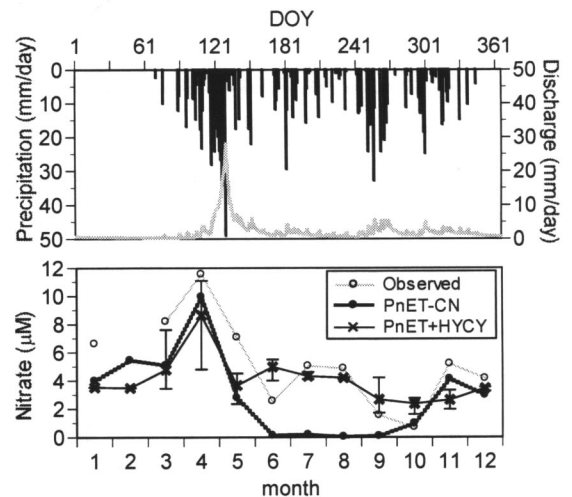


図 1. NO₃⁻濃度の観測および計算結果

伐採の長期影響の評価

PnET-CN モデルによる森林伐採の長期影響の計算結果を図 2 に示した。NO₃⁻濃度の変動は植生によって異なった。広葉樹林では NO₃⁻濃度が伐採後 3 年でピークに達し、その後急速に低下して 15 年後には伐採前のレベルに回復した。一方針葉樹林では伐採後 9 年でピークに達し、伐採前の

レベルには 30 年後に回復するという緩やかな変化を示した。ピーク濃度は広葉樹林でより高かった。このようなパターンはバイオマス量の変化でも見られ、広葉樹ではバイオマスの回復が早く、針葉樹では緩やかであった。混交林では両者の中間的な変動を示した。

HICYMODEL による伐採に伴う年間流量の変化を図 3 に示した。蒸発散量の減少により、伐採前と比較して年間流量は最大で約 25%増加し、伐採後 15 年経過しても約 15%多かった。

これらの結果を元に泥川流域から朱鞠内湖に対する水量と NO₃⁻の負荷量を計算した。表 1 に広葉樹林および混交林で伐採後の NO₃⁻濃度がピークに達する、伐採後 3 年目の影響を示した。伐採面積が大きいほど流域スケールでの影響も大きくなった。小面積および中面積伐採ではバイオマス量が比較的早く回復するが、大面積伐採では長期を要した。伐採に伴う朱鞠内湖への流入水量の増加は比較的小さかった。これに対し、NO₃⁻負荷量は小面積伐採で約 1.5 倍、大面積伐採では約 20 倍となり、特に広葉樹林の伐採で影響が大きかった。これらの結果は、湖沼生態系が源頭部における伐採の影響を強く受けうることを示唆している。しかし、広葉樹林では伐採後の濃度低下が針葉樹林に比べて速い(図 2)ことから、湖沼生態系に対する伐採の影響は、伐採対象樹種の違いにも依存することが示された。これらの結果は、森林の脆弱性と回復可能性を示しており、森林生態系管理において重要な情報となる。

結論

生態系に対するかく乱は生態系サービスのバランスにも大きな影響を与える。例えば、森林伐採は木材資源の供給を増やす一方で、水資源に対しては悪影響を与えかねない。したがって、生態系を保全し利用する上ではこのようなトレードオフ関係を考慮することが重要で、本研究のようなアプローチが必要となる。

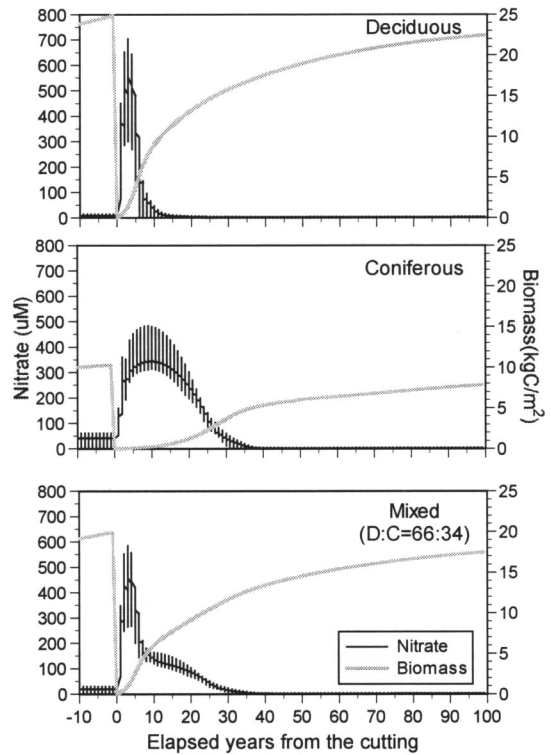


図 2. 森林伐採の長期影響

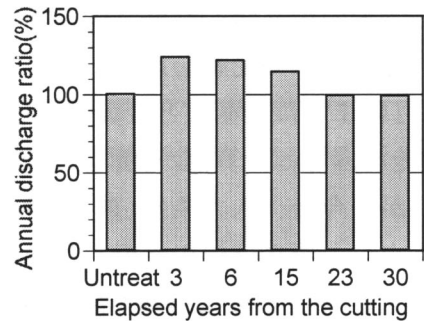


図 3. 伐採に伴う流量の長期変化

表 1.伐採 3 年後の流量・NO₃⁻負荷量の変化

Treatment		Effects to each watershed		Effects to Lake Shumarinai	
Cutting area	Treated Forest	Forest Biomass ¹⁾	Recovery time ²⁾	Annual discharge ¹⁾	Annual NO ₃ ⁻ load ¹⁾
		(Residual, %)	(years)	(%)	(%)
small	Coniferous	98.9	0/3	101	144
small	Desiduous	97.3	0/7	101	188
small	Mixed	97.8	0/6	101	173
moderate	Coniferous	94.3	0/16	104	318
moderate	Desiduous	86.2	0/23	104	542
moderate	Mixed	89.0	0/21	104	466
large	Desiduous	31.1	37/>100	120	2310
large	Mixed	44.8	31/82	120	1930

1)Ratio of the value in three years later of logging to untreated status as 100%

2)Required years to recover the forest biomass to 80/100% of the untreated status.

引用文献

Aber et al.(1997) Ecological Modelling, 101, 61-78.; 福嶋・鈴木(1986)京大演報,57,162-185.; Katsuyama et al. (2009) Sustainability Science (in press), Ohte et al. (2001) Water, Air, Soil Pollution, 130, 649-654.

関連する業績

(論文)

Katsuyama, M., Shibata, H., Yoshioka, T., Yoshida, T., Ogawa, A. and Ohte, N. (2009) Applications of a hydro-biogeochemical model and long-term simulations of the effects of logging in forested watersheds, Sustainability Science (in press).

(学会発表)

勝山正則,大手信人,福島慶太郎,柴田英昭,吉岡崇仁:アジアモンスーン地域における渓流水質予測モデルの適用と水文学的改良, 水文・水資源学会 2008 年研究発表会,東京大学,2000.8.