

森林集水域からの溶存成分流出に及ぼす人間活動の影響

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)

はじめに

陸上での人間活動は物質循環の変化を通じて、集水域からの溶存成分流出に影響している(Shlesinger 1997)。本報告では、それらの中でも(1)森林伐採、(2)土地利用変化、(3)大気降下物、(4)森林火災に関連する既往の研究ならびに自身が関連する研究プロジェクトの一部を紹介する。特に、生態系の必須栄養元素として重要である窒素の動態に注目して論じる。

森林伐採が河川水の溶存成分動態に及ぼす影響

森林生態系はそれぞれの環境条件に応じた自律的な物質循環システムを司っている。光合成に必要な二酸化炭素は大気中の二酸化炭素を利用するのに対し、必須栄養である窒素やリンは根系を通じて根から吸収している。その中でも窒素はもともと大気中に存在している窒素ガス(N₂)が微生物によって取り込まれ、生態系内部で循環しているものや、大気降下物として窒素酸化物やアンモニウム化合物として供給されていると言われている。天然条件下での温帯林生態系の多くは窒素に欠乏しており、生態系の生産性は窒素制限を受けていると言われている。そのような、半開放系の森林生態系において森林伐採という人間活動が生じると、土壌-植生系の物質循環過程は大きく変化し、そのアウトプットである河川水への溶存成分流出量は増大すると言われている(Likens and Bormann 1995)。

流域レベルでの森林伐採が溶存成分流出に及

ぼす影響は、1960年代後半から70年代にかけて行われた国際生物学事業計画(IBP: International Biological Program)の一環としてアメリカの研究林において多くの成果が挙げられている。中でも北東アメリカのニューハンプシャー州に位置するハッバード・ブルック実験林での長期にわたる伐採影響プロジェクトでは、流域での森林伐採が河川への硝酸イオン流出を引き起こすと同時にpH低下が一時的に生じることを明らかにしている(Fig. 1, Chapin *et al.* 2002)。

土地利用変化が河川への栄養塩流出に及ぼす影響

森林から農地あるいは都市への土地利用変化は生態系の物質循環過程を攪乱し、河川への溶存成分、特に栄養塩の流出を増加させる。農地への集約的な化学肥料の投与は余剰窒素の溶脱を促進し、地下水や河川水あるいは下流の陸水生態系を富栄養化させるといわれている。地球上の人口増加に伴う食糧増産は必然として地球全体の窒素循環を加速させ、集約農業を営んでいる地域からの窒素溶脱を促進させている(Galloway & Cowling 2002)。地球全体の陸域から河川、海洋への窒素溶脱量を推定した研究では、人口増加の増加速度が最も大きい北東アジア地域における海洋への窒素溶脱量が全球レベルでも著しく大きいことを示している(Seitzinger & Kroeze 1998)。

森林の窒素飽和とそれに伴う窒素溶脱量の増大

化石燃料や化学肥料の使用増加は、大気中の窒素濃度を高め、その結果として大気から陸上生態系に沈着する窒素降下物量を増加させている(Galloway *et al.* 1995)。全休レベルでの窒素降下物分布を調べた研究では北東アメリカ、北西ヨーロッパならびに北東アジア地域においてその量が多く、今後 20 年間の将来予測においては北東アジア地域での窒素降下物増加が見込まれている(Galloway *et al.* 1995)。

大気からの窒素降下物の増加は生態系の窒素栄養代謝を攪乱し、生態系の窒素必要量を越えた量は地下水や河川へと溶脱してしまう (Fig. 2)。土壌への過剰なアンモニア態窒素の供給は、微生物による硝化と伴い、土壌の酸性化ならびに有毒な Al^{3+} の溶出を引き起こす可能性がある。このような生態系への過剰な窒素沈着は生態系の「窒素飽和(Nitrogen Saturation)」と呼ばれ、北西ヨーロッパや北東アメリカにおいて生態系の劣化や地下水の富栄養化を引き起こしている (Aber *et al.* 1998; Dise & Wright 1995)。

わが国においても産業の発展に伴い大気環境が変化し、その影響が河川に及んでいることが懸念されている。全国各地での大学演習林のネットワーク研究によって行われた森林河川の硝酸イオン濃度の全国比較研究では、関東地域に位置する森林河川の硝酸イオン濃度が著しく高く、それらの地域での大気汚染が影響しているものと考察されている (Shibata *et al.*, 2001)。

森林火災が生態系の物質循環に及ぼす影響

シベリヤやアラスカ、カナダなどの亜寒帯林において、森林火災は生態系のさまざまなプロセスに影響しているといわれている (Chapin *et*

al., 2002)。それらの地域では永久凍土が分布している地域が多く、火災後の熱・水動態や植生変化などは火災の規模や頻度により大きく影響しているであろう。永久凍土地域における森林火災が生態系プロセスに及ぼす影響を明らかにするための大規模な操作実験が米国アラスカ中央部のフェアバンクス郊外のカリブー・ポーカークリーク実験流域 (http://www.lter.uaf.edu/CPCRW_index.htm) で実施された (FROSTFIRE プロジェクト, <http://www.fsl.orst.edu/fera/frostfire.html>)。この実験では流域全体に実験的に森林火災を引き起こし、その前後の熱・水動態や物質循環の変化、植生回復のプロセスなどを明らかにすることを目的としている (Hinzman *et al.* in press)。これまでの結果では、火災の影響によって土壌からの溶存有機炭素 (DOC) 溶脱の増加や火災によって生じた炭への DOC 吸着の影響により、表層土壌へ含まれる DOC 含有率が火災直後および一年後に低くなる傾向があることが明らかとなっている (Shibata *et al.* 2003)。土壌の DOC 動態は金属成分である鉄やアルミニウムの動態と密接な関係にあり、陸域から海洋へのそれらの金属元素の動態を評価する上でも森林火災の影響が重要であることを示唆している。

引用文献

- Aber, J., McDowell, W., Nadelhoffer, K., Magill, A., Berntson, G., Kamakea, M., McNulty, S., Currie, W., Rustad, L., & Fernandez, I. (1998) Nitrogen Saturation in Temperate Forest Ecosystems: Hypotheses revised, *BioScience*, **48**: 921-934.
- Chapin III, F. S., Matson, P. A. and Mooney, H. A. (2002) Principle of Terrestrial Ecosystem Ecology, 436pp., Springer-Verlag, New York.
- Dise, N. B. & Wright, R. F. (1995) Nitrogen leaching

from European forests in relation to nitrogen deposition, *Forest Ecology and Management*, **71**: 153-161.

Galloway, J. N., Schlesinger, W. H., Levy, H., II, Michaels, A. & Schnoor, J. L. (1995) Nitrogen fixation: anthropogenic enhancement – environmental response, *Global Biogeochemical Cycles*, **9**: 235-252.

Galloway, J. N. & Cowling, E. B. (2002) Reactive Nitrogen and the World: 200 years of change, *Ambio*, **31**: 64-71.

Hinzman LD, Fukuda M, Sandberg DV, Chapin III FS and Dash D: FROSTFIRE: An experimental approach to predicting the climate feedbacks from the changing boreal fire regime. *J. Geophys. Res.-Atmospheres*, in press

Likens, G.E. and Bormann, F.H. (1995) *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem* –2nd ed., 160pp., Springer-Verlag, New York.

Schlesinger, W.H. (1997) *Biogeochemistry*, 2nd edition, An analysis of global change, 588pp., Academic Press, San Diego.

Seitzinger, S. P. & Kroeze, C. (1998) Global distribution of nitrous oxide production and N inputs in freshwater and coastal marine ecosystems, *Global Biogeochemical Cycles*, **27**: 93-113.

Shibata, H., Kuraji, K., Toda, H. and Sasa, K. (2001) Regional comparison of nitrogen export to Japanese forest streams. *TheScientificWorld* **1**: 572-580.

Shibata, H., Petrone, K.C., Hinzman, L.D. and Boone, R.D. (2003) The effect of fire on dissolved organic carbon and inorganic solutes in spruce forest in the permafrost region of interior Alaska. *Soil Sci. Plant Nutr.* **49** (1): 25-29.

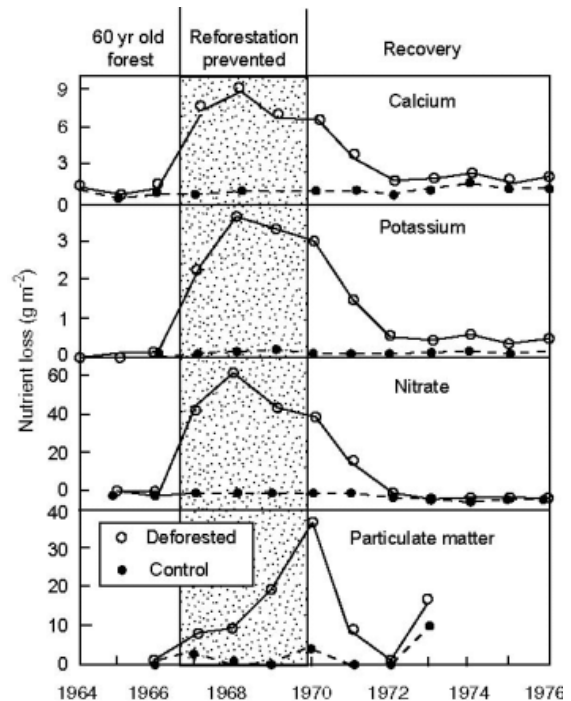


Fig.1 Losses of calcium, potassium, nitrate and particulate organic matter in stream water before and after deforestation of an experimental watershed at Hubbard Brook Forest in the northeastern United States. The shaded area shows the time interval during which vegetation was absent due to cutting of trees and herbicide application (Chapin *et al.* 2002)

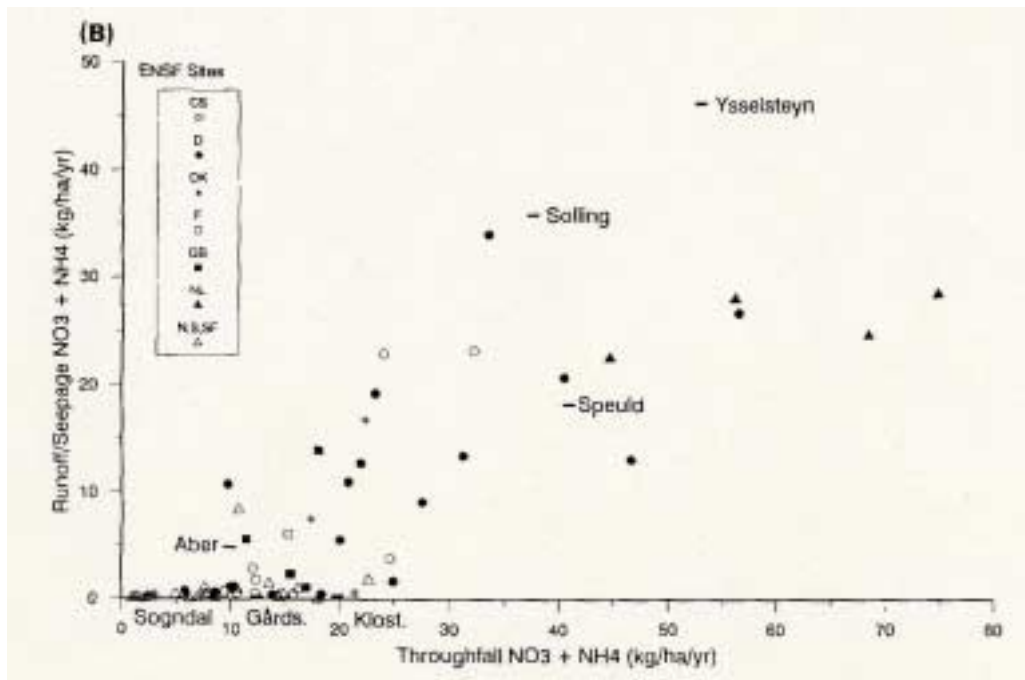


Fig. 2 N output vs. N input at NITREX and ENSF sites (Dise & Wright, 1995)