

II-63

森林集水域からの栄養塩の流出

—夏季の北海道大学農学部付属演習林簾舞試験地を対象として—

北海道大学工学部 正会員 橘 治国
 北海道大学環境科学研究科 遠藤 浩
 北海道大学環境科学研究科 久保 貴司
 北海道大学農学部 藤原晃一郎

1. はじめに 水域の富栄養化に対しては、まず原因となる栄養塩負荷発生源の実態を把握し、その適切な管理を行うことが必要である。森林も面的に広がる大きな栄養塩負荷発生源で、湖沼やダム湖の水質や生態系に与える影響は無視できない。筆者らは山地河川を対象にこれまで水質成分の変動特性や流出機構を調査してきたが^{1)~5)}、さらに森林生態系と水質との関連を明らかにすることを目的に、森林樹木や林床の被覆度の高い小流域の河川を対象に調査を開始した。本報告では生物活動が活発になる夏季の平均的水質と、この時期集中的に調査した晴天時と降雨時(増水時)の短期的な水質の変動特性の分析結果について報告する。

2. 研究方法

2.1 調査対象森林集水域 北海道大学農学部付属演習林簾舞試験地を調査対象とした。(図1) 本試験地は、石狩川水系豊平川支流の簾舞川流域内にあり、札幌市からは南西約15kmの位置にある。試験地は、標高562mの小峰の北西斜面にあり、面積は19.1haである。標高350m以上は急傾斜(約48%)でそれ以下では緩傾斜(約24%)となり、標高270m付近で湧水をみる。水質調査地点は標高250mの位置とした。調査地点より上流300~400mに川の流れをみるが、その位置は一定しない。ミズナラ、シナノキ、イタヤカエデ等を含むカラマツ人工林である。林床は、クマイザサで占められる。細流に沿っては、湿性の草本が群落を形成する。⁶⁾ 表層地質は第三紀から第四紀に形成された比較的堅牢な安山岩で構成されているが、試験地の大部分の土層は薄く、下層部は10~15cmの未風化角礫に富んでいる。土壌は褐色森林土であり表層には5~10cmの腐植層がある。

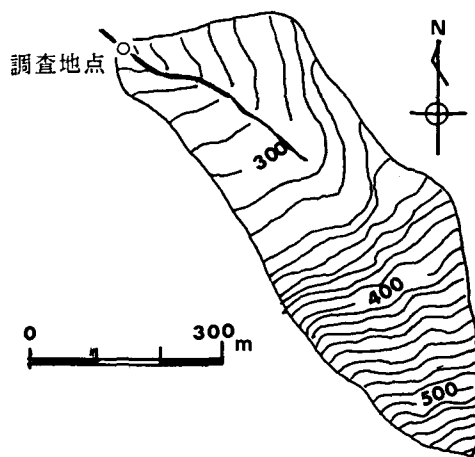


図1 簾舞試験地集水域

2.2 調査方法 調査は1991年7月下旬から開始した。試料は、9月下旬までは自動採水器(ISC0-1680)を使用し、流量変動と対応させて1日1~12回連続採水できる体制をとった。晩秋から春にかけては、運搬手段の関係から、週に1度を原則として現地に出かけ採水した。流量*、気温・水温*、電気伝導度*および雨量**については、調査地点近くに設けられた北大農学部付属演習林(*印)および北大工学部土木工学科防災工学講座(**印)の自動観測所の計測データを利用した。今回は10月までの採水試料の分析結果をもとに、夏季水質の特徴について述べる。

2.3 分析項目 富栄養化関連成分(形態別の窒素およびリン化合物、有機炭素など)と主要無機成分等、約30項目を分析対象とした。

Runoff of Nutrients from Forest Watershed

by H.Tachibana, I.Endoh, T.Kubo and K.Fujiwara

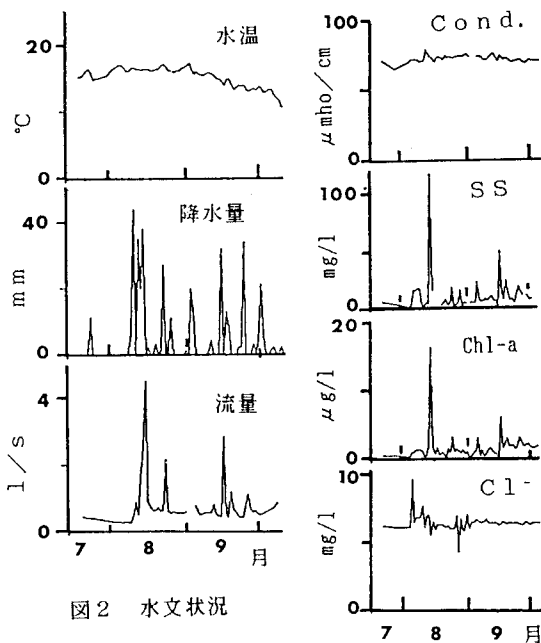


図2 水文状況

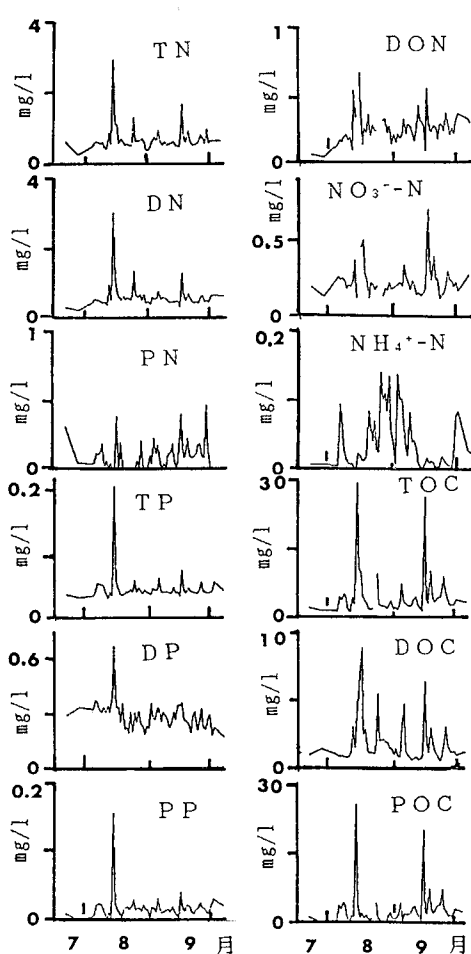


図3 代表成分の濃度変化

3. 結果および考察

3.1 日データ(12時)に基づく夏季水質の特徴 7月中旬から9月までの水文状況を図2に、代表成分の濃度変化(電気伝導度(Cond.)、SS、Chl-a、Cl⁻、TN、DN、PN、DON、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、TP、DP、PP、TOC、DOC、POC)を図3に示した。電気伝導度や塩化物イオンの例で明らかに、一般無機成分は低濃度でその変化は小さい。森林環境は自然の状態に保たれており、人為的な影響も少ないといえる。降雨増水時にSS濃度が上昇するが、これはChl-a濃度と対応しており、河床生物や林床物由来であることがわかる。集水域の土壌は、豊富な植物に覆われているといえる。栄養塩については、窒素とリン成分ともに、溶存態の割合が高い。窒素についてはNH₄⁺-Nの大きな濃度変化が特異的であった。増水時には、窒素では溶存態(有機窒素や硝酸イオン)の、リンでは懸濁態の上昇を認めた。窒素は生物の分解物が溶存態として、リンは懸濁物質に含有された形態で、河床や地中に蓄積されていることがわかる。有機炭素についても全体的に溶存態の割合が高い。しかし増水時には、溶存態に加え、SSにみられるように懸濁態有機炭素の濃度が著しく高くなる。

3.2 夏季の水質成分の流出特性 水質成分の流出特性を表す手法の一つとして、7月中旬から9月までの各項目について流量と負荷量の関係を、 $L/A=c(Q/A)^n$ (L: 負荷量、Q: 流量、A: 流域面積、c, n: 定数) で整理し、結果を表1に示した。全体的に懸濁態の成分は両者の相関が悪く、

表1 夏季の栄養塩の流出パターン

$$L(C \cdot Q/A) = C \cdot (Q/A)^n \text{ 型の整理}$$

R: 相関係数、C: mg/l、Q: l/s、A: 19.1ha、C': log C

	降雨1 (8月10日~12日) (N=21~22)			降雨2 (8月12日~16日) (N=24~27)		
	R	n	C'	R	n	C'
Cl ⁻	1.00	1.03	0.83	1.00	0.93	0.85
SO ₄ ²⁻	0.98	1.10	0.59	0.84	1.03	0.48
Chl-a	0.82	1.57	-0.09	0.46	1.13	0.14
SS	0.91	2.04	0.33	0.70	2.00	0.05
TN	0.99	1.58	-0.42	0.90	1.51	-0.48
DN	0.99	1.57	-0.46	0.86	1.49	-0.49
PN	0.83	1.89	-1.57	0.41	1.48	-1.96
NO ₃ ⁻ -N	0.97	1.40	-0.74	0.93	1.51	-0.89
NH ₄ ⁺ -N	0.65	1.63	-2.98	0.64	1.28	-2.06
TP	0.95	1.35	-1.52	0.84	1.32	-1.58
DP	0.96	2.02	-1.53	0.92	1.11	-1.61
PP	0.88	2.03	-2.65	0.69	1.87	-2.53
TOC	0.94	1.86	0.18	0.88	1.90	0.04
DOC	0.98	1.92	-0.21	0.97	2.03	-0.30
POC	0.73	1.83	-0.16	0.54	1.48	-0.12

主要無機イオンでは n がほぼ1かまたはそれ以下という特徴を認めることができる。富栄養化関連成分である窒素、リン、有機炭素については $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ と DP を除き、1以上でその多くは1.5に近い値である。窒素、リンでは懸濁態が、有機炭素では溶存態の n 値が大きく、これらが洗いだしの影響を強く受ける傾向にある。本集水域では、蓄積された栄養塩の現存量が多く、それが降雨時に流量の増加に伴って洗い出されてくるパターンとなっている。

4. 晴天時、降雨時の栄養塩の流出機構

降雨などの気象条件による水質の変化は、河川からの負荷流出機構を知るうえで重要である。晴天時、降雨時に行った集中採水（2～4時間間隔）の結果を基に、森林域からの水質成分の流出機構について検討した。

4. 1 晴天時の水質変化 8月7日から8月10日まで晴天時の流量と水質変化の例を図4に示した。この期間は先行降雨から2週間程度経っており、流量は基底流量に近い。図に明らかなように、主要無機成分についての濃度変化はほとんど見られない。栄養塩、有機炭素成分については、溶存態成分がその大部分を占めており、濃度の日周期変化は、無機成分同様、見られない。一方、SSや懸濁態有機炭素、Chl-aについては最大値と最小値で8倍程度の差が見られる。これは風などの気象条件による外部からの懸濁態成分の流入が原因と考えられる。

4. 2 降雨時の水質変化 8月10日から8月12日の間の降雨（降雨1とする。総雨量84.5mm、最大降雨強度13.3mm/h）と8月13日から8月16日の降雨（降雨2とする。総雨量93.5mm、最大降雨強度8.8mm/h）の期間、集中的な連続採水を行った。その結果を図5、6に示す。降雨1は先行降雨が7月25日に10mm程度あるだけで河川は基底状態に近いと考えられる。降雨2は、降雨1の

約48時間後から断続的に降った。主要無機成分に関しては、降雨1で Cl^- の濃度上昇が見られる。これは長い先行晴天期間に植物体表面に付着していた塩粒子が洗い出しを受けた結果と考えられる。その他の成分では濃度変化はほとんど認められない。SSやChl-aは降雨の初期、流量のピークが現れる前に濃度が最大となり、その後はほぼ基底状態に近い。河床堆積物は増水初期に流れ去ってしまう。栄養塩類については各成分とも流量増加とともに濃度の増加が見られるが、窒素成分ではそのほとんどが溶存態、特に有機態の成分である。リン成分は溶存態、懸濁態ともに濃度の増加がみられるが、懸濁態の方が増加の割合が大きい。前述のように、栄養塩は多量に森林内に蓄積され、増水時に、それぞれ特有のパターンで流出してくることがわかる。有機炭素成分も懸濁態成分の増加が著しいが、降雨2の後半の流量ピーク時に溶存態の濃度が徐々に増加してきていることから、溶存態としての貯留量も大きいと推測される。

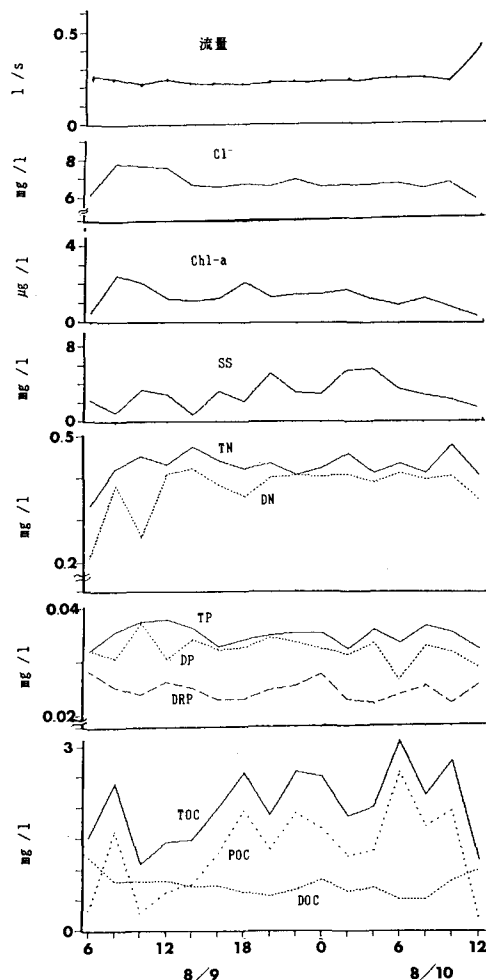


図4 晴天時の流量と水質の変化

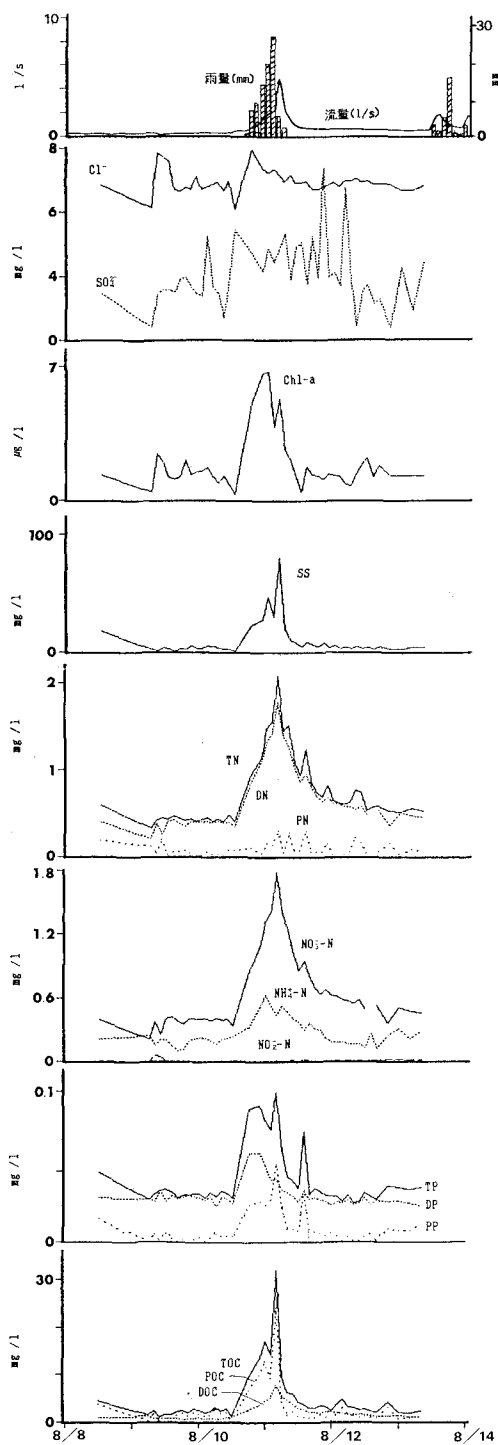


図5 降雨1の流量と水質の変化

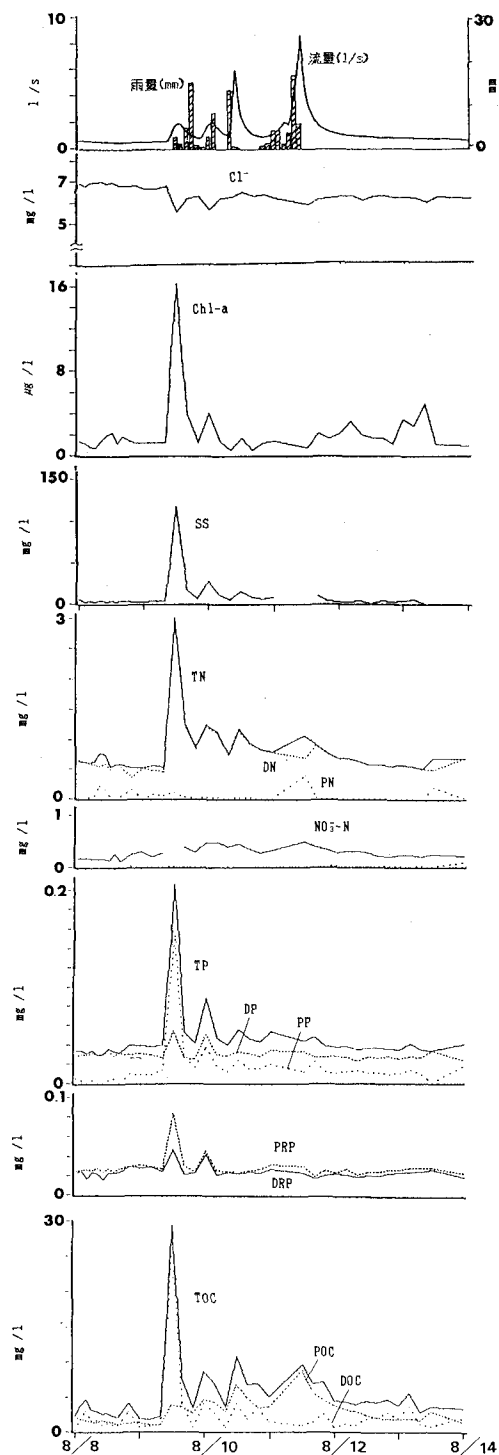


図6 降雨2の流量と水質の変化

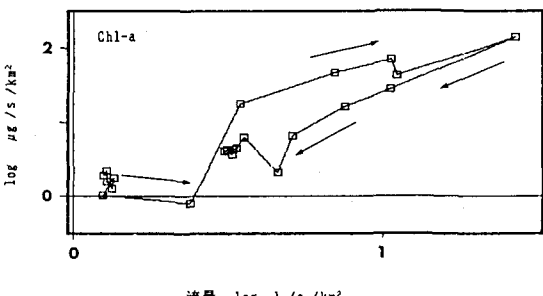
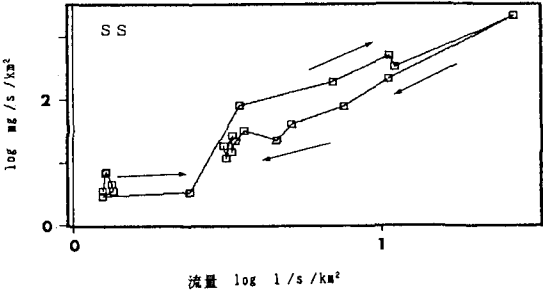
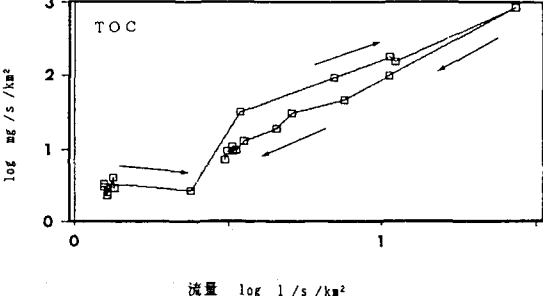
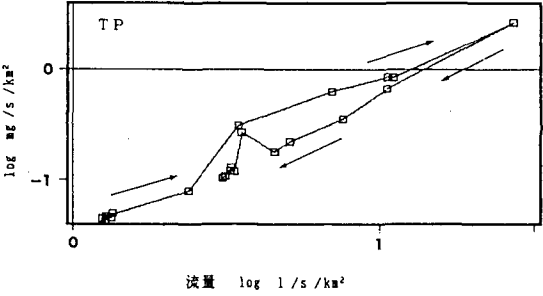
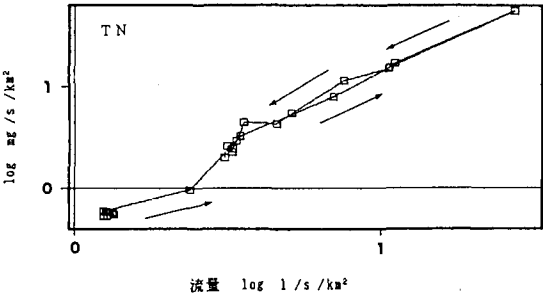
表2 降雨時の栄養塩の流出パターン

$L(C \cdot Q/A) = C \cdot (Q/A)^n$ 型の整理
R: 相関係数、C: mg/l、Q: l/s、A: 19.1ha、 $C' = \log C$

夏期定時採水(12時; 8~10月)
(N=61~66, *44)

	R	n	C'
Cl ⁻	0.99	0.97	0.82
SO ₄ ²⁻	0.80	0.97	0.53
Chl-a	0.42	0.93	0.08
SS	0.29	0.85	0.86
TN	0.93	1.35	-0.39
DN	0.92	1.38	-0.47
PM	0.71	1.55	-1.27
NO ₃ ⁻ -N	0.93	1.47	-0.88
NH ₄ ⁺ -N	0.19	0.79	-1.66
TP	0.82	0.91	-1.35
DP	0.93	0.90	-1.51
PP	0.39	0.86	-1.87
TOC	0.61	1.15	0.39
DOC	0.76	1.35	-0.06
POC	0.35	1.05	0.13

図7 主な項目の流量と負荷量の関係



4. 3 栄養塩の流出とその特性 窒素成分は降雨前より降雨後の濃度の方が高い。これは有機炭素成分にもいえるがリン成分では見られない。降雨前後の挙動の違いは平田らによって土壤中での存在状態の違いであると報告されている。⁷⁾ 降雨後に濃度が上昇する成分は土壌表層付近での濃度の高まりがあり、そうでないものは鉛直方向にほぼ一様か表層付近で深部より減少するとしている。窒素成分の存在形態としては溶存態有機窒素が多いため、これらの土壌表層での蓄積が予想できる。一方リン成分については窒素と異なり比較的懸濁態成分が多い、その大部分が降雨初期で流出してしまうこと、ごく表層付近でのみ蓄積されたものと予想される。窒素は流量の増加によって主に有機態成分濃度が著しく増大し、降雨後もしばらくその状態を保つ。リンは懸濁態成分として初期に大部分流出してしまうが、降雨後のもとの濃度レベルへの回復は早い。いずれにしてもその濃度の増加量は平水時の栄養塩の濃度のレベルと比べると6~8倍ほど高くなっており、降雨時の栄養塩の流出が下流の閉鎖性水域に与える影響は非常に大きいといえる。

4. 4 負荷流出特性 降雨時における負荷の流出特性を3. 2と同様に、 $L/A=c(Q/A)^n$ (L : 負荷量、 Q : 流量、 A : 流域面積、 c, n : 定数)の回帰式を用いて検討した。相関係数と n 、 c の値を表2に示す。栄養塩類の n 値は1より大きく、多くは1.5以上となり濃度増加の傾向が見られる。窒素は溶存態、懸濁態の n 値がともに大きい、リンはPPで n 値が2を越えており、懸濁態としての濃度の増加が特に著しいことが分かる。有機炭素成分は溶存態、懸濁態の n 値がともに2近くになっており、降雨に伴う洗い出しが非常に大きい。各成分のヒステリシスを図7に示す。懸濁態成分が比較的多いリン、有機炭素成分やSS、Chl-aなどは時計回りであり、流量増大時、特にその初期における懸濁態成分の表面流出の影響が非常に大きいことが分かる。窒素についてはヒステリシスはどちらかというと反時計回りになっており、流量逓減時の地下水流出による土壌貯留分の洗い出しの影響が大きいということが分かる。一般無機成分については n の値はほぼ1となった。

(謝辞) 北海道大学低温科学研究所 小林大二教授、中央大学理工学部 山田 正教授そして北海道大学工学部防災工学講座の皆様のご指導とご援助を得た。ここに記して謝意を表します。

(文献) (1)~(4)年講(42~45回)、p932、p902、p900、p910、1987~1990 (5)橋、安藤、大森、飯田、梅本 衛生工学研究論文集、27巻、p33、1991 (6)桜田、梅田、辻井、藤原、長谷川 北海道大学農学部付属演習林研究報告、44巻、No.1、p245、1987 (7)平田、村岡 国立公害研究所研究報告、No.95、p37-55、1986、No.116、p53-74、1988