

森林流出水の水質についての広域的考察 (1)

広瀬 顕・岩坪 五郎・堤 利夫

Study on Run-off Water Chemistry in Japanese Forest (1)

Akira HIROSE, Goro IWATSUBO and Toshio TSUTSUMI

要 旨

森林流出水の水質分析を日本全国34カ所の集水域で行った。流出水の pH はほぼ中性であり、電気伝導度は温暖乾燥の地点で高く寒冷湿潤の地点で低かった。Ca, Mg, Na, Cl, SO₄, NO₃-N は電気伝導度と正の相関があった ($r > 0.6$)。NO₃-N 濃度と SO₄ 濃度は瀬戸内の岡山, 香川でとくに高かった。Na 濃度と Cl 濃度は沖縄と多雪地の山形で高かった。一方, 標高 1000 m 以上にあつて, 寒冷湿潤な気候条件下にある岐阜, 長野では, 全ての物質の濃度が低かった。気候条件の等しい隣接集水域のなかでは, 老齢林の NO₃-N 濃度が若齢林のそれよりも高かった。

1. はじめに

森林からの物質の流出は, 森林の物質循環のひとつの重要な経路であると同時に, 下流域の河川水質のバックグラウンドとして重要な意味をもっている。

森林の物質循環については, 1960年代からわが国や欧米において集水域を単位とした降水と流出水に含まれる物質の測定をつうじての物質収支の研究, 集水域内の森林植物と土壌とのあいだの物質循環量に関する研究がおこなわれてきている^{1,2,3,4)}。しかし, 各集水域間をむすぶ広域的・包括的な研究はない。河川水質については, 人間生活の影響をうけた中下流域の水質についての広域的な研究はあるが⁵⁾, 自然状態にある源流域で集水域間の植生と関連づけた研究はない。

本研究は, 広く日本全土にわたって採水点を設定し, 多様な条件下にある森林の流出水の水質分析の結果から, 森林の流出水の水質の実態を把握すること, およびその水質決定にかかわる要因の推定をおこなうことを目的としておこなったものである。

2. 調査地および調査項目, 方法

採水をおこなった地点は, 北海道から沖縄までの34の森林集水域である。このうち北海道・山形・新潟・富山・岐阜・奈良・島根・岡山・香川・高知では, 隣接して植生のことなる複数の集水域から採水した。気候帯としては, 冷温帯に12点, 暖温帯に21点, 亜熱帯に1点という配分である。暖かさの指数で55-210°C・月, 乾湿指数で8-31の範囲にある。暖かさの指数, 乾湿指数は吉良の方法でもとめた^{6,7,8)}。各集水域の所在を図-1にしめた。

採水は毎月1回, 大きな降雨による増水時をさけ, 平水時におこなった。それらはただちに京

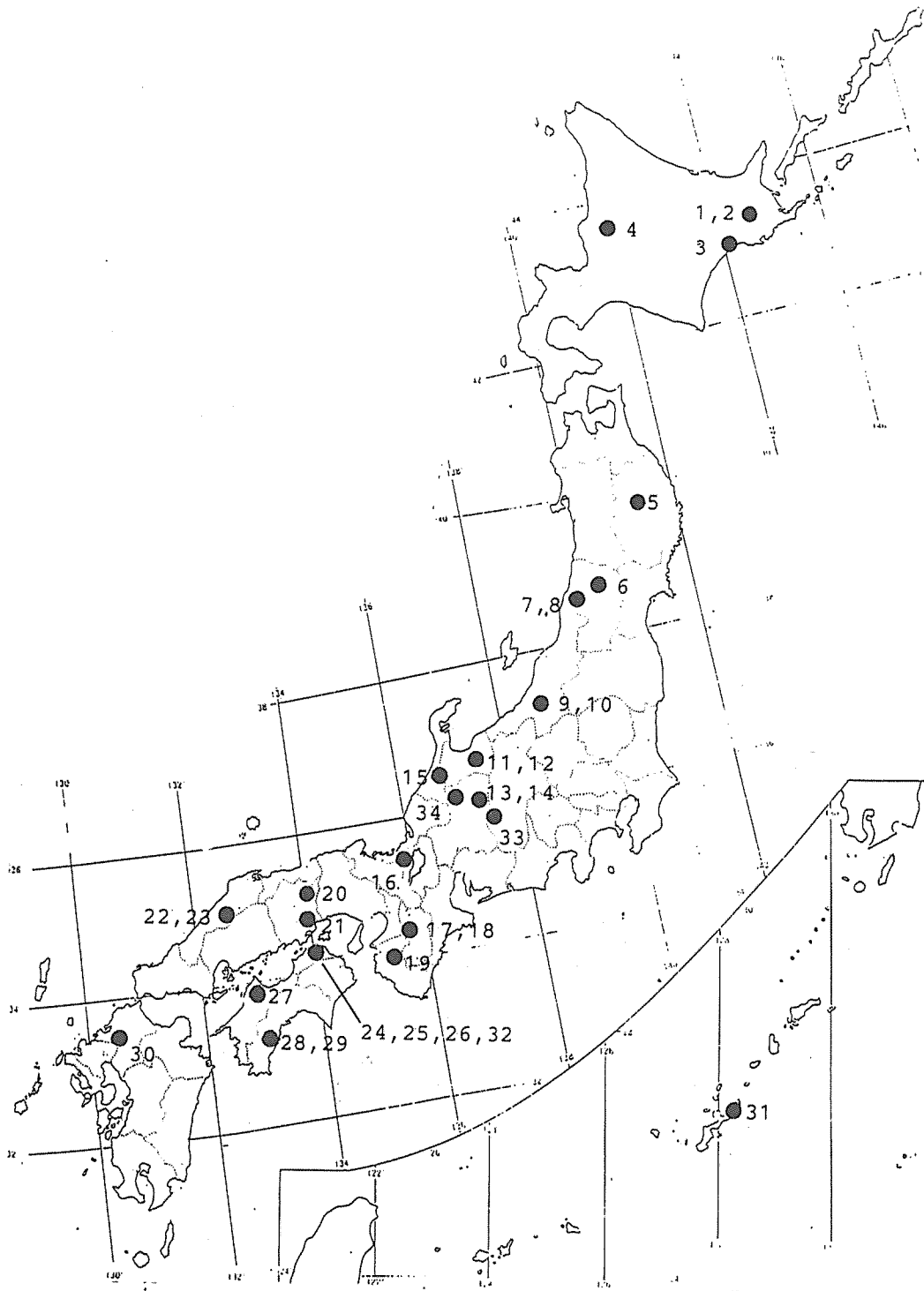


図1 調査地の所在
Fig.1 Location of study sites

都大学農学部に郵送され、分析に供した。

電気伝導度 (EC: Electric Conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$) は堀場電気伝導度計, pH は堀場複合形ガラス電極, アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) は住友化学ガスクロマトグラフ, $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\cdot$ 硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) は島津イオンクロマトグラフ, $\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ は原子吸光光度法, $\text{Na}\cdot\text{K}$ は炎光光度法, 全リン (total-P) はペルオキシ二硫酸カリウム分解ののちモリブデン青 (アスコルビン酸) 吸光光度法によって分析した。

3. 結果と考察

各採水点ごとの1987年5月から1988年3月までの毎月の分析値の平均値を表一1に示した。森

表1 調査地の概要と水質の1987年5月—1988年3月の平均値。
Mean value of Water chemistry, May, 1987—March, 1988.

No.	地点名	WI.	HI.	EC	pH	Cl	$\text{NO}_3\text{-N}$	SO_4	Ca	Mg	Na	K	total P	$\text{NH}_4\text{-N}$
1	標茶	56.5	11.1	55.5	6.84	2.05	0.11	1.50	2.14	0.69	5.20	1.95	0.01	0.00
2	標茶	56.5	11.1	63.9	6.78	2.06	0.03	1.87	2.58	0.77	5.56	2.07	0.02	0.00
3	白鶴	71.8	11.0	73.4	6.78	2.72	0.06	7.03	2.32	1.24	6.00	2.77	0.04	0.04
4	美唄	67.0	8.9	65.0	6.91	6.17	0.01	3.04	2.86	1.18	6.43	1.22	0.02	0.00
5	岩手	79.9	12.8	36.0	6.85	5.37	0.11	1.89	0.88	0.50	3.78	1.17	0.01	0.02
6	山形	90.6	10.5	130.3	6.81	15.43	0.05	27.51	1.37	0.94	16.81	2.20	0.01	0.00
7	山形	70.0	24.4	115.7	6.78	11.41	0.17	6.15	7.29	3.23	7.79	1.37	0.02	0.01
8	山形	70.0	24.4	96.2	6.73	8.64	0.10	4.95	5.54	3.23	6.44	1.42	0.03	0.00
9	十日町	99.3	21.6	78.7	6.76	3.93	0.09	3.07	2.99	3.12	5.13	1.38	0.01	0.00
10	十日町	99.3	21.6	68.9	6.76	4.15	0.16	1.95	3.21	1.71	5.12	1.23	0.01	0.00
11	富山	82.6	22.9	50.8	6.78	2.10	0.21	1.37	2.50	0.92	4.39	0.94	0.02	0.03
12	富山	82.6	22.9	56.8	6.76	2.16	0.25	1.78	3.12	0.91	4.65	1.16	0.04	0.03
13	高山	52.8	25.2	55.2	6.76	0.31	0.02	0.96	5.89	1.42	1.41	0.32	0.01	0.00
14	高山	52.8	25.2	19.9	6.90	0.25	0.08	1.30	1.50	0.57	0.58	0.40	0.01	0.01
15	金沢	101.2	21.9	103.0	6.81	6.72	0.28	4.10	6.17	2.53	7.69	0.83	0.03	0.00
16	滋賀	111.6	18.3	42.7	6.81	3.36	0.04	3.02	2.02	0.98	3.69	0.61	0.03	0.00
17	奈良	101.2	11.5	113.9	6.73	3.87	0.20	9.22	6.40	2.42	8.23	0.63	0.01	0.03
18	奈良	101.2	11.5	116.2	6.83	5.04	0.51	8.00	7.79	2.65	7.36	0.91	0.01	0.00
19	和歌山	111.4	19.4	51.9	6.84	2.23	0.13	6.46	3.91	0.67	3.34	0.80	0.01	0.00
20	岡山	105.9	12.4	47.5	6.82	2.18	0.09	7.65	3.10	0.80	2.95	0.47	0.03	0.00
21	岡山市	117.6	9.5	203.5	7.01	8.56	1.56	19.30	7.65	4.94	15.83	1.71	0.04	0.01
22	島根	95.0	23.3	61.9	6.83	8.00	0.06	2.86	1.92	0.85	6.97	1.10	0.02	0.00
23	島根	95.0	23.3	56.7	6.78	7.53	0.14	2.63	1.62	0.81	6.41	1.01	0.02	0.00
24	香川	98.4	10.1	133.0	6.69	6.31	0.54	13.81	9.81	2.23	7.84	1.05	0.01	0.00
25	香川	98.4	10.1	104.3	6.75	5.94	1.41	11.27	6.38	1.78	6.92	0.91	0.01	0.12
26	香川	107.1	9.7	150.9	6.81	7.15	2.38	13.30	15.59	2.01	6.10	1.11	0.01	0.00
27	愛媛	94.9	16.8	63.0	6.92	2.81	0.16	5.34	5.22	0.44	4.08	0.83	0.01	0.00
28	高知	113.0	18.3	64.4	6.78	1.85	0.01	11.46	4.18	1.22	4.22	0.85	0.01	0.00
29	高知	113.0	18.3	59.9	6.81	2.18	0.11	8.31	3.59	1.18	4.07	0.94	0.01	0.02
30	福岡	105.9	13.9	44.7	6.82	3.23	0.25	4.56	1.60	0.88	4.07	1.06	0.01	0.01
31	沖縄	212.9	15.0	163.6	6.85	18.55	0.02	6.69	10.34	3.10	12.29	1.12	0.01	0.01
32	高松	122.2	9.2	232.9	6.86	6.39	2.20	32.83	23.06	4.44	9.46	0.90	0.07	0.00
33	長野	64.5	30.2	13.6	7.37	0.26	0.25	0.58	0.72	0.15	1.13	0.41	0.03	0.00
34	岐阜	65.0	21.6	20.4	6.89	0.53	0.06	3.49	0.68	0.17	2.34	0.65	0.00	0.00
平均値		93.2	17.0	82.8	6.83	4.98	0.35	7.04	4.88	1.61	6.01	1.10	0.02	0.01
	$^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$			$\mu\text{S}/\text{cm}$		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l

注 WIは暖かさの指数 (Warmth Index), HIは乾湿指数 (Humidity Index) である。

WI: Warmth Index is given by $\text{WI} = \sum (t-5)$ for month in which $t > 5$,
where t = monthly mean temperature in $^{\circ}\text{C}$ (6).

HI: Humidity Index is given by $\text{HI} = \text{P}/(\text{WI}+20)$ for $\text{WI} \leq 100$

and $\text{HI} = 2\text{P}/(\text{WI}+140)$ for $\text{WI} > 100$, where P = mean annual precipitation (6, 7, 8).

林流出水の物質濃度は季節的に変化することがあるが、現在11カ月の分析が終わったところであり季節変化について検討するには不十分である。季節変化については今後データが集積したのち検討をおこなうとして、ここでは各地点の11カ月の平均値をもってその地点の代表値とし、地点間の比較をおこなうことにする。

3-1. 森林流出水の水質

電気伝導度は、13.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -232.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲にあり、平均は82.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。No. 32 (高松) と No. 21 (岡山) でとくに値が高く、200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上であった。

pH は6.69-7.37の範囲にあり、平均は6.83であった。No. 33 (長野) を除けば6.6-7.1のあいだにあった。

Cl 濃度は0.25 mg/l-18.55 mg/l の範囲にあり、平均は4.98 mg/l であった。No. 31 (沖縄), No. 6 (山形), No. 7 (山形) でとくに高く10 mg/l をこえた。また No. 13 (高山), No. 14 (高山), No. 33 (長野), No. 34 (岐阜) では1 mg/l 以下と低かった。

NO₃-N 濃度は0.01 mg/l-2.38 mg/l の範囲にあり、平均は0.35 mg/l であった。34地点のうち26地点では0.25 mg/l より低かった。No. 32 (高松), No. 21 (岡山), No. 25 (香川) でとくに高く1 mg/l をこえた。

SO₄ 濃度は0.58 mg/l-32.83 mg/l の範囲にあり平均は7.04 mg/l であった。No. 32 (高松) No. 6 (山形), No. 21 (岡山) でとくに高く15 mg/l をこえた。

Ca 濃度は0.68 mg/l-23.06 mg/l の範囲にあり、平均は4.88 mg/l であった。No. 32 (高松), No. 26 (香川) でとくに高く15 mg/l をこえた。

Mg 濃度は0.15 mg/l-4.94 mg/l の範囲にあり、平均は1.61 mg/l であった。No. 21 (岡山), No. 32 (高松) でとくに高く4 mg/l をこえた。また No. 33 (長野), No. 34 (岐阜) でとくに低く、0.2 mg/l 以下であった。

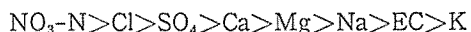
K 濃度は0.32 mg/l-2.77 mg/l の範囲にあり平均は1.10 mg/l であった。No. 3 (白糖), No. 6 (山形), No. 2 (標茶), No. 1 (標茶), No. 21 (岡山) で高く1.5 mg/l をこえた。また No. 14 (高山), No. 33 (長野), No. 20 (岡山) では0.5 mg/l 以下と低かった。

total-P 濃度は最高で0.07 mg/l, 平均0.02 mg/l であり、ほとんどの地点で検出限界の0.01 mg/l 以下であった。

NH₄-N 濃度は最高で0.12 mg/l, 平均0.01 mg/l であり、20地点では検出限界の0.01 mg/l 以下であった。

平均値について濃度 (mg/l) の高い順にならべると、SO₄>Na>Cl≒Ca>Mg>K>NO₃-N>total-P>NH₄-N となる。total-P と NH₄-N の濃度はとくに低い。

地点間で濃度の最高と最低の比の大きい順にならべると、



となり、NO₃-N 濃度は最高の地点と最低の地点で値に238倍の開きがあり、とくに違いが大きかった。また pH の値はほぼ中性にちかく地点間のちがいがちいさかった。total-P, NH₄-N 濃度は非常に低い値で地点間のちがいがちいさかった。

1960年に全国の225河川においておこなわれた調査によると、日本の河川水の平均物質濃度はCa 8.8 mg/l, Mg 1.9 mg/l, Na 6.7 mg/l, K 1.19 mg/l, SO₄ 10.6 mg/l, Cl 5.8 mg/l, NO₃-N 0.26 mg/l, NH₄-N 0.05 mg/l である⁵⁾、これを今回の34地点の平均とくらべると、Ca と NO₃-N をのぞいてほぼおなじような値である。Ca 濃度は、石灰岩地域で高く⁵⁾、また人間の生活圏内

の河川で高い¹⁴という報告があり、今回はそれらに概当する調査地がなかったため、やや低い値をしめした、とかがえられる。しかし、NO₃-N 濃度は今回のほうが高い。1960年以降の工業活動による降水の NO_x 成分の増加の影響もかながえられるが⁹⁾、分析方法のちがいもあり、原因はよくわからない。

3-2. 地点間の物質濃度の違いとその要因

a) 電気伝導度：電気伝導度は Mg・Ca・Na・SO₄・NO₃-N・Cl の各物質の濃度と正の相関があった（表-2）。水溶液の電気伝導度は水中に溶けているイオンの量と各イオンの電気を運ぶ速さによって支配されるから電気伝導度により、おおまかに水中の溶存イオン量を推定すること

表2 水質各項目間の相関係数
A matrix of paired correlations for run-off water chemistry

	EC	pH	Cl	NO ₃ -N	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	t-P	NH ₄ -N
EC	1.00	-0.14	0.64	0.70	0.79	0.84	0.86	0.80	0.26	0.36	0.03
pH		1.00	-0.15	0.07	-0.06	-0.12	-0.15	-0.11	-0.20	0.17	-0.20
Cl			1.00	0.16	0.44	0.34	0.51	0.82	0.34	0.02	0.00
NO ₃ -N				1.00	0.63	0.79	0.53	0.33	-0.01	0.34	0.20
SO ₄					1.00	0.66	0.53	0.69	0.21	0.37	0.03
Ca						1.00	0.70	0.38	-0.08	0.37	-0.03
Mg							1.00	0.62	0.15	0.39	-0.02
Na								1.00	0.51	0.19	0.05
K									1.00	0.16	0.07
t-P										1.00	-0.01
NH ₄ -N											1.00

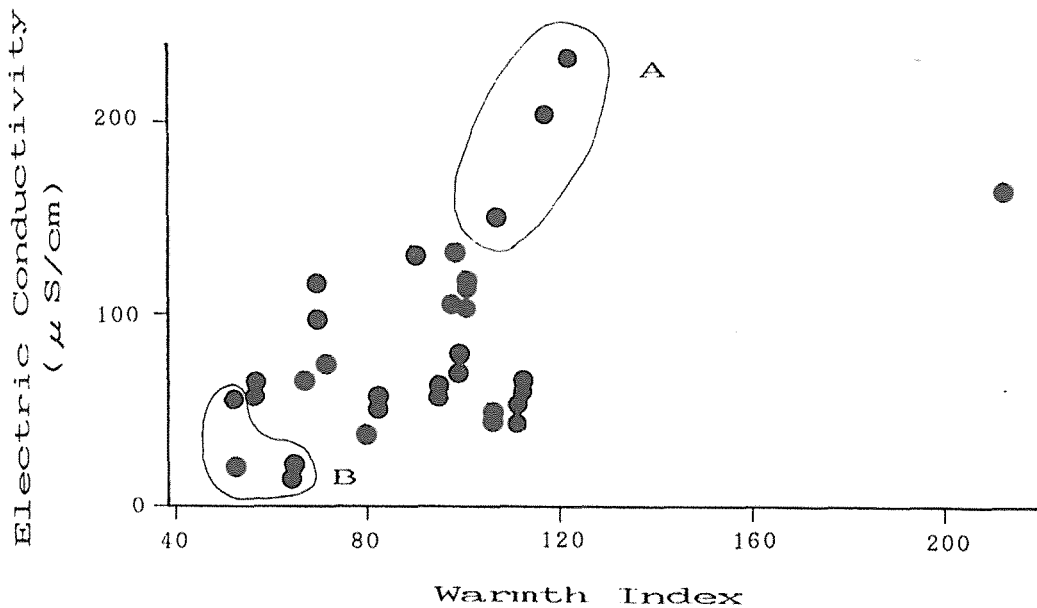


図2 電気伝導度と暖かさの指数の関係
A : No. 21, No. 26, No. 32 (岡山, 香川)
B : No. 13, No. 14, No. 33, No. 34 (岐阜, 長野)
Fig. 2 Relationship between Electric Conductivity and Warmth Index

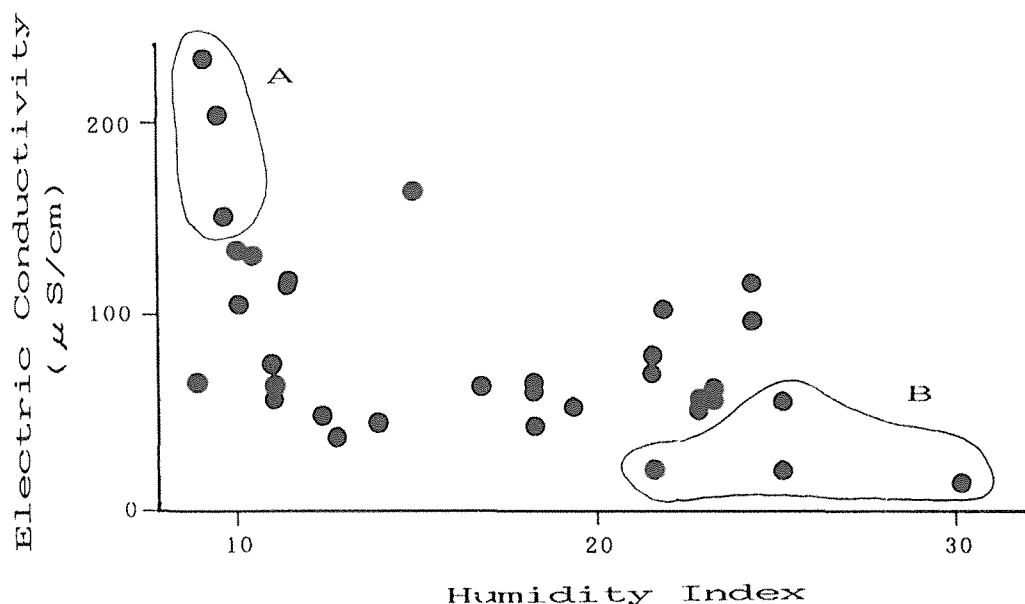


図3 電気伝導度と乾湿指数の関係
 A : No. 21, No. 26, No. 32 (岡山, 香川)
 B : No. 13, No. 14, No. 33, No. 34 (岐阜, 長野)
 Fig. 3 Relationship between Electric Conductivity
 and Humidity Index.

ができる¹⁰⁾。

電気伝導度は地点間で値に17倍の開きがみられた。値がとくに高かったのは、No. 32 (高松), No. 21 (岡山), No. 31 (沖縄), No. 26 (香川)であった。また、No. 33 (長野), No. 14 (高山), No. 34 (岐阜)ではとくに値が低かった。このふたつのグループのあいだでは溶存物質濃度が大きくことなる。そして2つの地域のあいだには気候条件のちがいがみられた。

図一2, 3に電気伝導度と暖かさの指数 (Warmth Index), 電気伝導度と乾湿指数 (Humidity Index) の関係をしめす。

電気伝導度の高い地点のうち、No. 32 (高松), No. 21 (岡山), No. 26 (香川) (図中Aでしめした) はいずれも瀬戸内地方にあり、暖かさの指数はそれぞれ122.2, 117.6, 107.1°C・月と高く温暖であり、乾湿指数は9.2, 9.5, 9.7と低く乾燥の傾向をしめしている。

一方、電気伝導度の低い No. 14 (高山), No. 33 (長野), No. 34 (岐阜) (図中Bでしめした) はいずれも中部地方高地にあり標高が1000 mをこえている。暖かさの指数はそれぞれ 52.8, 64.5, 65.0°C・月と低く寒冷であり、乾湿指数は25.2, 30.2, 21.6と高く湿潤の傾向をしめしている。

No. 28 (高知), No. 29 (高知) は No. 32 (高松), No. 21 (岡山), No. 26 (香川) と比較すると暖かさの指数は113.0と同程度に高いが、乾湿指数は18.3と高く、電気伝導度はそれぞれ 64.4, 59.9 μS/cm と低い。

No. 1 (標茶), No. 2 (標茶), No. 3 (白糠) は No. 14 (高山), No. 33 (長野), No. 34 (岐阜) と比較すると暖かさの指数はそれぞれ, 56.5, 56.5, 71.8°C月と同程度にひくい、乾湿指数は11.1, 11.1, 11.0と低くて中部地方高地より乾燥の傾向にあり、電気伝導度はそれぞれ 55.5,

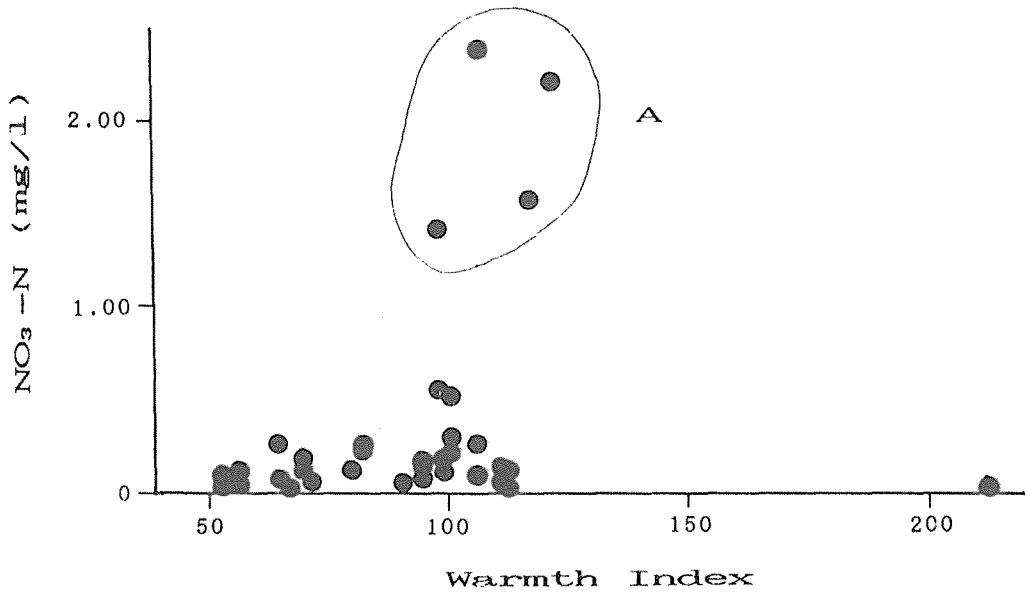


図4 硝酸態窒素 (NO₃-N) 濃度と暖かさの指数の関係
 A : Nod21, No. 25, No. 26, No. 32 (岡山, 香川)
 Fig.4 Relationship between concentration of nitrate-nitrogen and Warmth Index.

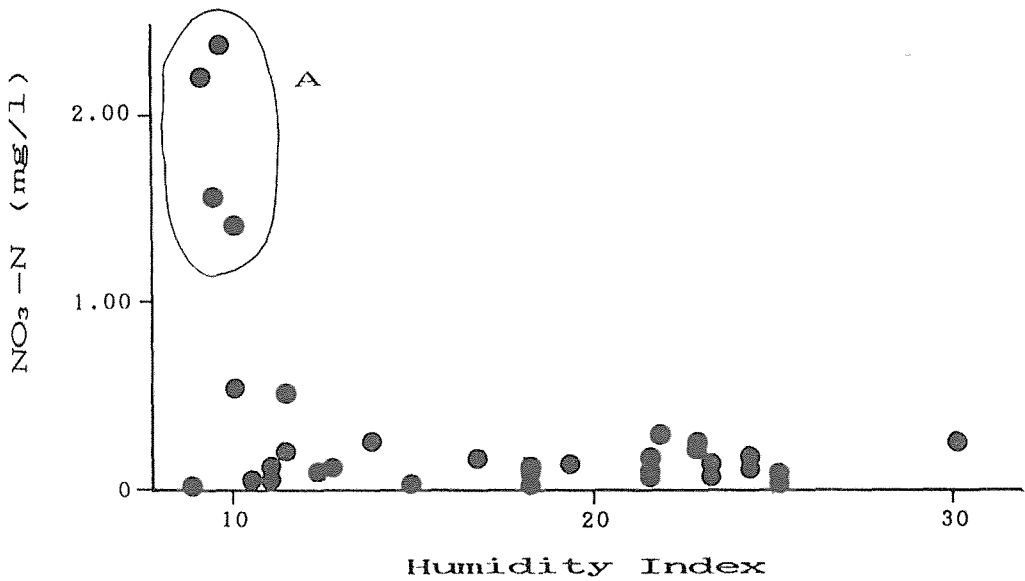


図5 硝酸態窒素 (NO₃-N) 濃度と乾湿指数の関係
 A : No. 21, No. 25, No. 26, No. 32 (岡山, 香川)
 Fig.5 Relationship between nitrate-nitrogen and Humidity Index.

63.9, 73.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ とやや高い傾向をしめした。

これらのデータから、流出水中の物質濃度、主として Ca, Mg, Na, Cl, SO_4 , $\text{NO}_3\text{-N}$ は、おおまかには温暖乾燥の地域で高く、寒冷湿潤の地域で低い傾向をしめしたといえる。

暖かさの指数は土壌有機物の分解にたずさわる微生物の活性、すなわち養分物質の無機化速度を規定する要因として、また乾湿指数は蒸発散による流出水の濃縮にかかわる要因として、流出水の物質濃度に影響しているとかんがえられる。

b) $\text{NO}_3\text{-N}$ (硝酸態窒素) 濃度：瀬戸内地方の No. 26, No. 32, No. 21, No. 25 では $\text{NO}_3\text{-N}$ (硝酸態窒素) 濃度がとくに高かった。(図 4, 図 5 に A でしめした)

流出水の $\text{NO}_3\text{-N}$ の起源は森林土壌にある。土壌中の $\text{NO}_3\text{-N}$ が多くなる要因としては、有機態窒素の高い含有率と高い土壌温度に強い関係をもつ微生物の硝化活性があげられる¹¹⁾、また流出水中の濃度が高いことの要因のひとつとして蒸発散による濃縮があげられる。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度がとくに高かったこれらの地点はいずれも温暖かつ少雨であり、上の条件をみたまが、それにしても濃度は群を抜いて高く、今後他の要因についても調査をおこなう必要がある。

c) Ca 濃度, Mg 濃度：Ca 濃度と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度とのあいだには正の相関がみられた ($r=0.79$) (表-2)。土壌微生物による硝化がおこなわれるさい放出される H イオンが土壌に吸着されている Ca を溶脱するためとかんがえられる¹²⁾。

Ca と Mg はともに岩石起源の元素であり、その流出水中の濃度には地質の影響が大きいとかんがえられる⁹⁾。しかし今回調査地点の地質に関する資料は少なくさらに調査が必要である。

d) Na 濃度, Cl 濃度：瀬戸内地方とならんで電気伝導度のとくに高いもう一つの地点 No. 31 (沖縄) では Na 濃度と Cl 濃度が高かった。Na と Cl はともに海洋塩起源の元素であり、植物に利用されることががすくないこと、土壌中で動きやすい性質をもつことから、降水の濃度が流出水の濃度によく反映されるととかんがえられる。両元素間の相関係数は 0.82 と高かった。Na, Cl の濃度は海に近い No. 31 (沖縄) と多雪地の No. 6 (山形) で高く内陸高地の No. 13 (高山), No. 14 (高山), No. 33 (長野) で低かった。

e) K 濃度：K 濃度については、電気伝導度や Ca 濃度, Mg 濃度とのあいだに相関はみられない。流出水の K 濃度にかかわる要因はこれらのミネラルとはことなるとかんがえられる。ただ一つ Na 濃度とのあいだにやや正の相関がみられた ($r=0.51$) (表-2)。流出水の Na 濃度が Si 濃度と同様、流域母岩の風化速度の指標の一つとかんがえられるとするならば¹³⁾、Na の濃度と正の相関をもつ K 濃度にかかわる要因も地質の影響があるのかもしれない。

3-3. 隣接する集水域内での物質濃度のちがい

34カ所の調査地点のなかには、隣接して位置する集水域が 9 組ある。これらの組のなかでは気候、降水、地質などの諸条件にほとんど差はなく、流出水の水質のちがいはおもに集水域の植生のちがいによる、とかんがえられる。

図-6 は高知の 2 集水域 (No. 28, No. 29) の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の月変化である。調査期間をつうじてつねに No. 29 > No. 28 であった。No. 28 はヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の新植地であり No. 29 はヒノキの 61 年生林である。林齢のちがいが $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度のちがいの原因ではないか、とかんがえられる。

図-7 は北海道東部の 3 集水域 (No. 1, No. 2, No. 3) の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の月変化である。調査期間をつうじて No. 2 において濃度が低かった。No. 2 は 17 年生のカラマツ (*Larix leptolepis*) ・トドマツ (*Abies sachalinensis*) の人工林であり、No. 1, No. 3 はそれぞれ落葉広葉樹の天然林、トドマツの天然林である。

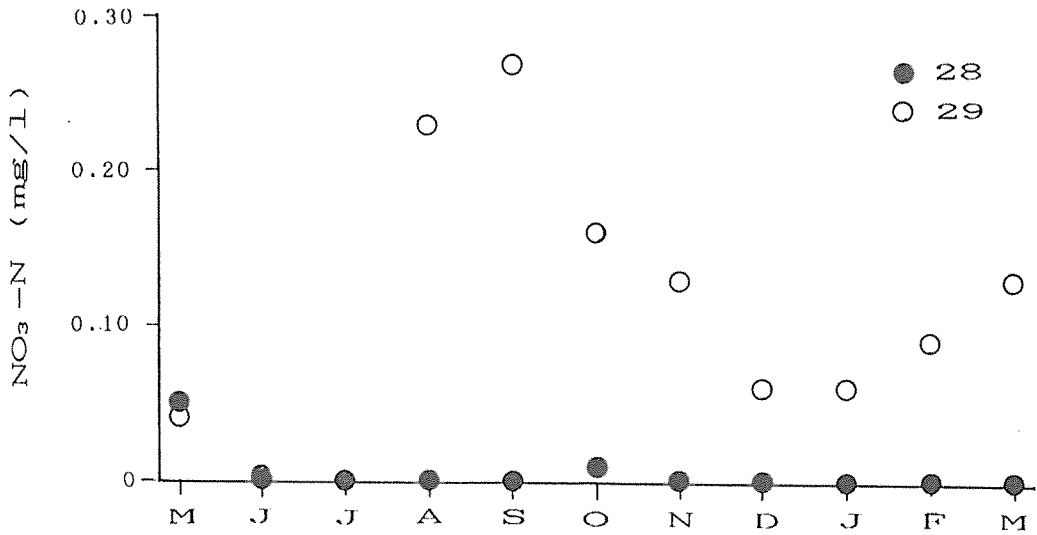


図6 隣接集水域での $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の月変化, (高知)
 Fig. 6 Monthly variation of nitrate-nitrogen in Kouchi.

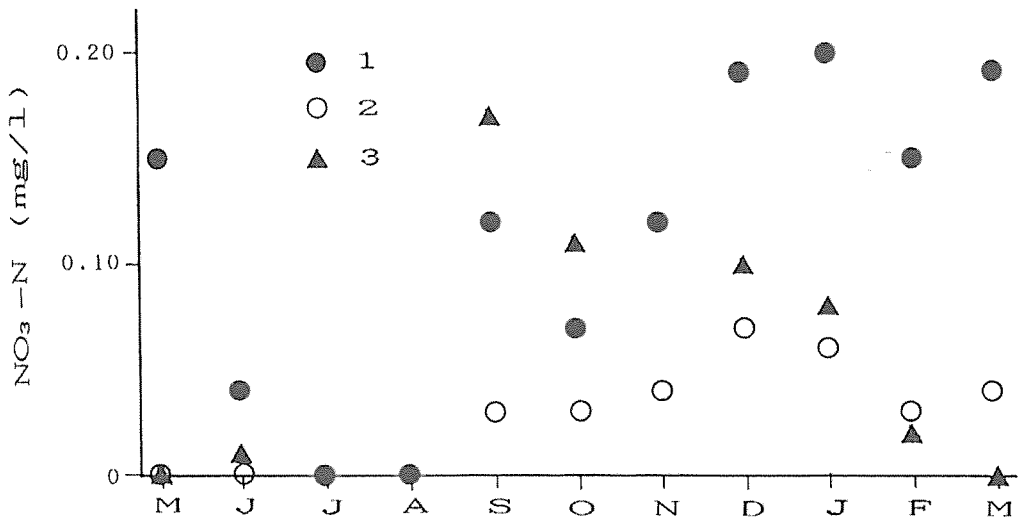


図7 隣接集水域での $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の月変化, (北海道)
 Fig. 7 Monthly variation of nitrate-nitrogen in Hokkaido.

図一八は香川の3集水域 (No. 24, No. 25, No. 26) での $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の月変化である。調査期間をつうじて $\text{No. 26} > \text{No. 25} > \text{No. 24}$ であった。No. 24 は近年まで人の手のはいった薪炭林であり、No. 25, No. 26 はともに60年生のスギ (*Cryptomeria japonica*) 人工林であるが No. 25 は下層に広葉樹がかなりはいつている。

図一九は中部地方高地の4集水域 (No. 13, No. 14, No. 33, No. 34) の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の月変化である。欠測期間があるが、No. 33 で濃度が高い。No. 33 は300年生のヒノキ天然林である。

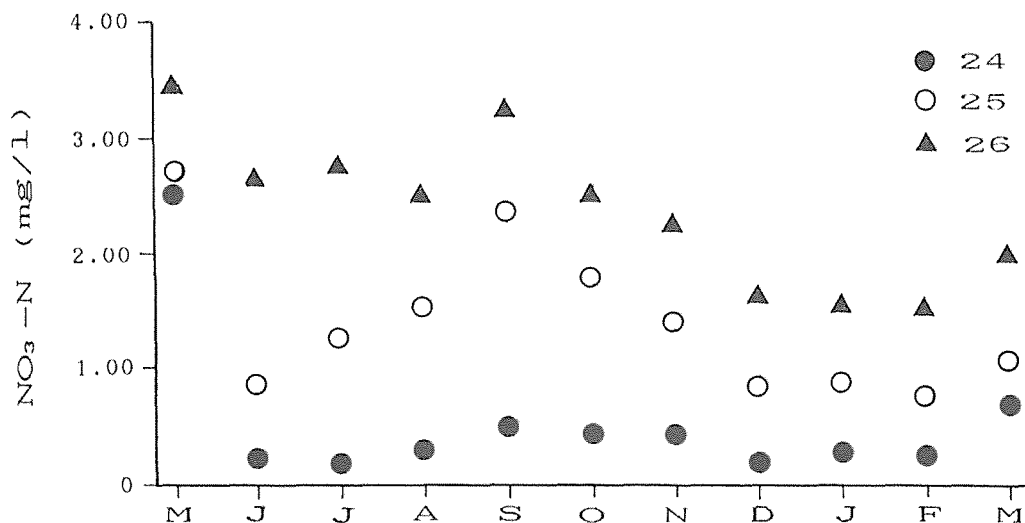


図8 隣接集水域での $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の月変化, (香川)
 Fig.8 Monthly variation of nitrate-nitrogen in Kagawa.

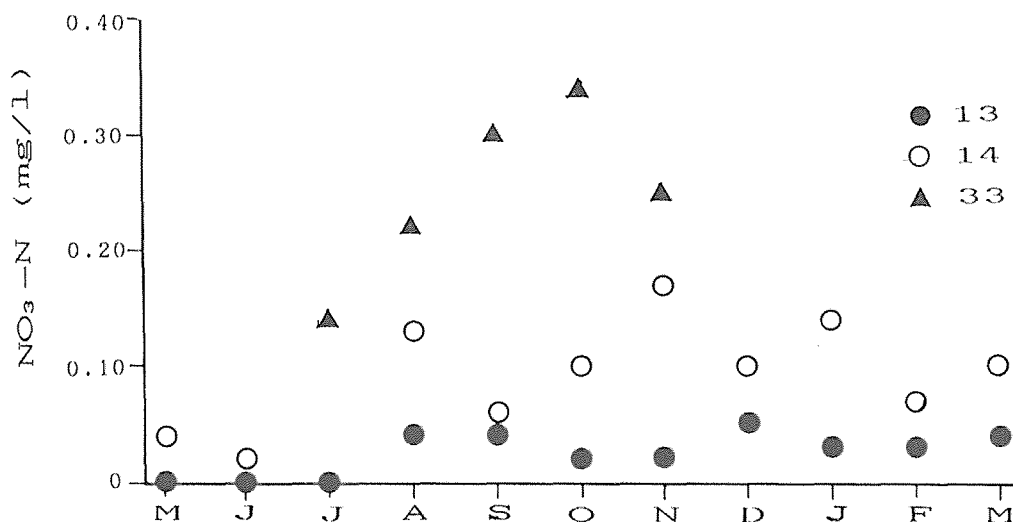


図9 隣接集水域での $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の月変化, (岐阜, 長野)
 Fig.9 Monthly variation of nitrate-nitrogen in Gifu, Nagano.

以上の例ではいずれのばあいも $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が若い森林で低く、古い森林で高い。林分の窒素の再循環のちがいが流出水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度に影響しているとかがえられる。林分現存量を増加しつつある若い森林は、成熟した森林にくらべ窒素の吸収量が多いのみでなく、樹体内に吸収された窒素の一部は幹・枝・根の増分にとりこまれ集積してしまい林地にかえられない。このことが、流出水とともに流出する量を抑制する方向に働くとかんがえられる。逆に現存量が平衡状態に達したような老齢の林分では樹体の増分が少なく、したがって吸収された窒素の大部分が再循環す

ると考えられ、このことが流出水とともに流出する量を増加する方向に働くとかんがえられる。アメリカ・ニューハンプシャーでの例では、流出水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は老齢林では高く一定であり、若い森林では生育期間において低くなる季節変化を示す。同様の傾向はK濃度についても見られたという¹⁹⁾が、今回の調査ではみとめられなかった。

以上、まず全国の水質の比較から、流出水の水質にかかわる要因として、気候条件（暖かさの指数、乾湿指数）がおおきく、さらに海洋塩、地質の影響があるとかがえられ、さらに同一気候条件下の隣接集水域間の比較からは森林の林齢が要因としてかんがえられた。

謝 辞

紙面の都合からここにひとりひとりお名前をあげることができませんが、採水には多くの方々に協力していただきました。お礼もうしあげます。

この研究は日本生命財団の研究助成をうけておこなったものである。

引 用 文 献

- 1) 丸山明男・岩坪五郎・堤 利夫：森林内外の降水にふくまれる養分量について（第一報）京大演報. 36. 25—39, 1965
- 2) 西村武二：山地小流域における養分物質の動き. 日林誌. 55. 323—333, 1973
- 3) 岩坪五郎：森林生態系での植物養分物質の循環—そこでの雨水のはたす役割について—。今西錦司博士古希記念論文集. pp 313—360, 1976
- 4) LIKENS, G. E., BORMAN, F. H., IERCE, R. S., EATON, J. S. and JOHNSON, N. M. : BIOGEOCHEMISTRY of a forested ecosystem, 146pp Springer-Verlag, New York, 1977
- 5) 小林 純：日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究. 農学研究. 48(2). 63—106, 1961
- 6) 吉良竜夫：農業地理学の基礎としての東亜の新気候区分（大東亜の農業地理学的研究1）. 23pp. 京都帝国大学農学部園芸学研究室. 京都. 1945
- 7) YIM, Y., and KIRA, T. : Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula, 1 Distribution of some indices of thermal climate, Jap. J. Ecol. 25, 2 pp 77—88, 1975
- 8) —————: do, II. Distribution of Climatic humidity/aridity, Jap, J. Ecol. 26. 3 pp 157—164, 1976
- 9) 玉置元則：大気汚染と雨水の酸性化. PPM. 15(3). 2—11, 1984
- 10) 半谷高久・小倉紀雄：水質調査法改訂2版. 丸善株式会社. 東京. pp 198—207, 1985
- 11) 堤 利夫：森林の物質循環. 東京大学出版会. 東京, 1987
- 12) LIKENS, G. E., BORMANN, F. H. and JOHNSON, N. M. : nitrification: importance to nutrient losses from a cutover forested ecosystem. Science. 1 63. pp 1205—1206, 1969
- 13) VITOSEK, P. M. : The regulation of element concentrations in mountain streams in the northeastern united states. Ecol. Monograph. 47. pp 65—87, 1977
- 14) IWATSUBO, Goro and TSUTSUMI, Toshio : On the Spraying of Sewage Water in a Forest (I) Preliminary Research On Sream Water Chemicals. 日林誌. 64. 187—192, 1982

Résumé

Chemistry of forest run-off water was monthly studied for thirty-four watersheds in various regions from Hokkaido to Okinawa in Japan. The pH values of forest run-off water were around 6.8 and did not differ among the watersheds. EC (Electric Conductivity) of water was higher in warm and dry, than cool and wet regions. EC was correlated with concentrations of Ca, Mg, Na, Cl, $\text{NO}_3\text{-N}$ and SO_4 in water ($r > 0.6$). Concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$ and SO_4 were especially high in Okayama and Kagawa where Warmth Indexes were high and Humidity Indexes were low.

Concentrations of Na and Cl were high in Okinawa which is located near the sea, and in Yamagata which has much snowfall. Concentrations of all elements were low in Gifu and Nagano pref., where the watersheds are located at a higher altitude of 1000 meter above the sea level and in cool and wet climate. Among the watersheds in same climatic conditions, run-off water from old-aged forest had higher concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$ than that from younger-aged forest.