

びわ湖流入河川の水質の季節変動と粘土鉱物生産量の推定

吉岡龍馬・神山孝吉・友沢憲治・奥田節夫

SEASONAL VARIATION OF CHEMICAL COMPOSITIONS IN THE RIVERS FLOWING INTO LAKE BIWA AND ESTIMATE OF THE AMOUNTS OF CLAY MINERALS PRODUCED BY WEATHERING PROCESSES THROUGH THE CHEMICAL COMPOSITIONS OF THE RIVERS

By *Ryuma YOSHIOKA, Kōkichi KAMIYAMA, Kenji TOMOZAWA*
and *Setsuo OKUDA*

Synopsis

Several observations have been carried out from Oct. 1972 to Sept. 1973 in order to study the seasonal variation of chemical compositions in the eighteen rivers which flow into Lake Biwa and estimate the amounts of clay minerals produced by weathering processes through the chemical compositions in natural waters of them.

The results are as follows: The concentration of bicarbonate ions among dissolved chemical species shows a largest seasonal variation, the total transported amount of dissolved chemical species is estimated as 120 tons/year·km² and the amounts of kaolinite and montmorillonite produced by CO₂ bearing water reacting with parent rocks are estimated as 20 tons/year·km² and 1.2 tons/year·km², respectively.

It seems that seasonal variation of chemical species in rivers is controlled mainly by discharge variation.

1. 緒 言

びわ湖の水質に関する調査・研究の報告は多数にのぼっているが、特にくさい水の発生、重金属・P.C.B などによる公害問題が出現してからその傾向は顕著である。

それに比較してびわ湖へ流入する河川の広域な水質調査に関しては小林¹⁾と滋賀県水産試験場の調査²⁾があるにすぎないが、南湖に流入する河川³⁾に対しては、最近、汚染調査の立場から相当調査が進められている。これらの調査・研究はいずれも栄養塩類、重金属などに重点をおいたもので風化・侵食の問題にはふれていない。

そこで著者らはびわ湖流域の風化・侵食の程度を水質の面からとらえようとして、びわ湖へ流入する河川のうち主要な18河川を対象に調査したので以下簡単に報告する。

2. 方 法

調査した河川は野洲川、日野川、愛知川、宇曽川、犬上川、芹川、天野川、姉川、余呉川、塩津川、大浦川、知内川、入通川、石田川、安曇川、鴨川、和邇川、真野川の18河川で、これらの流域面積は2345 km² となり滋賀県全流域面積 3342 km² の70%に相当する⁴⁾。観測期間は1972年10月から1973年9月の1水文年間とし、原則的に6回採水分析する目標で計画を立案したが、1973年6～8月にかけての異常渇水のために、7月の定

Table 1 Chemical compositions of the rivers flowing into Lake Biwa.

	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Soluble SiO ₂ mg/l	pH	Water temp. °C	Discharge m ³ /sec	Date of Sampling
R. Yasu	13.6	2.5	1.8	11.0	15.2	33.3	19.0	8.7	8.0	16.9	1.5	1972.10.18
	8.3	1.7	2.6	9.8	9.3	23.9	13.2	12.0	7.4	7.0	15	1973. 1.17
	11.4	1.6	1.8	10.1	12.5	24.4	16.9	11.5	7.7	6.7	0.8	" 3. 7
	10.6	2.9	2.3	14.7	15.2	33.4	20.6	9.4	7.0	24.6	0.7	" 6.26
	7.7	2.5	1.5	12.5	11.1	28.6	15.3	10.5	7.4	23.6	14	" 6.27
	6.0	2.2	1.8	8.6	7.3	21.0	13.2	10.0	7.2	23.7	—	" 9. 6
R. Hino	13.6	3.1	2.7	11.6	14.0	39.9	20.4	11.4	7.8	17.5	6.0	1972.10.18
	10.0	2.5	2.2	10.0	11.0	29.6	13.8	13.0	7.3	7.0	13	1973. 1.17
	12.8	1.3	2.3	9.8	14.2	31.7	16.3	12.2	7.4	8.7	4.6	" 3. 7
	11.7	3.8	2.9	13.2	15.2	45.1	15.4	9.6	7.3	24.0	1.1	" 6.26
	7.5	3.1	2.2	9.9	9.7	30.1	13.0	7.8	7.0	23.9	12	" 6.27
	12.0	3.8	4.0	15.9	14.5	54.5	19.6	15.0	6.9	29.5	0.03	" 7.19
	6.3	4.1	1.8	9.2	9.8	25.3	14.4	11.1	7.1	24.2	—	" 9. 6
R. Echi	5.4	1.4	1.5	14.0	5.0	42.4	12.8	9.0	7.3	19.5	0.1	1972.10.18
	4.1	1.0	1.7	10.2	4.7	29.3	6.6	8.6	7.5	8.2	7.7	1973. 1.17
	4.2	1.0	0.9	9.5	5.5	25.3	7.5	8.1	7.7	7.6	5.4	" 3. 7
	6.5	1.6	2.2	14.3	8.1	37.0	15.4	9.2	7.1	24.0	0.5	" 6.26
	7.6	1.9	3.0	18.4	9.6	50.2	16.2	14.5	7.1	30.4	0.8	" 7.19
	5.5	1.8	1.1	14.2	4.9	35.2	16.4	8.6	7.4	24.2	6.5	" 9. 6
R. Uso	9.2	2.3	3.5	19.1	13.7	65.6	12.2	15.2	6.9	17.6	2.5	1972.10.18
	8.6	1.9	3.2	16.0	13.0	46.2	14.0	13.2	6.9	9.8	7.3	1973. 1.17
	9.0	1.6	2.6	19.5	20.0	43.3	12.4	11.5	7.0	8.5	3.9	" 3. 7
	7.6	1.9	3.2	17.6	10.5	52.3	12.2	11.8	6.9	21.6	7.4	" 6.26
	7.7	2.1	2.9	23.7	15.1	64.7	16.3	10.6	8.5	32.4	0.8	" 7.19
	7.7	3.2	2.6	17.9	13.2	42.3	19.1	11.6	7.0	22.8	4.6	" 9. 7
R. Inukami	10.4	1.7	2.4	39.2	8.3	85.5	47.5	9.2	7.8	20.1	0.6	1972.10.18
	7.6	1.2	2.0	22.7	8.2	55.4	22.7	7.8	7.5	9.4	3.4	1973. 1.17
	8.2	1.4	1.7	33.6	10.4	65.6	50.9	7.7	7.4	11.7	2.1	" 3. 7
	19.9	1.8	2.3	48.7	10.1	85.1	83.0	8.0	7.4	20.7	1.5	" 6.26
	7.0	1.3	2.9	29.3	6.4	77.7	15.9	9.0	7.6	24.4	0.3	" 7.19
	8.2	1.7	2.0	29.0	5.7	72.3	30.6	8.2	8.0	24.1	3.5	" 9. 7
R. Seri	5.2	1.2	3.5	34.0	9.7	103.9	9.4	6.0	8.9	20.5	0.4	1972.10.18
	3.7	1.0	2.8	32.3	9.0	96.0	8.6	6.4	7.9	10.9	1.8	1973. 1.17
	3.7	0.9	2.8	32.3	7.1	96.6	8.8	5.8	8.1	12.7	3.7	" 3. 7
	4.6	1.4	2.8	33.8	9.1	99.8	10.2	5.5	8.6	23.0	0.7	" 6.26
	3.3	1.2	2.3	38.0	4.1	119.1	16.2	5.6	8.1	22.9	5.4	" 9. 7
R. Amano	6.4	1.2	3.6	34.4	6.9	107.6	16.7	6.5	7.8	19.4	1.4	1972.10.18
	6.9	1.3	2.6	33.4	11.4	88.0	20.2	6.5	7.7	9.9	4.2	1973. 1.17
	7.1	1.1	3.0	29.9	10.1	82.1	17.6	6.1	9.1	11.5	3.7	" 3. 7
	7.2	1.7	3.4	34.5	10.7	99.7	19.8	7.1	7.1	19.3	0.8	" 6.26
	3.3	2.0	1.4	21.9	4.5	58.1	13.0	8.6	7.6	21.0	62	" 6.27
	7.4	1.6	2.6	34.4	9.2	102.8	19.9	7.8	7.1	24.5	0.4	" 7.19
	6.9	2.1	2.5	31.2	8.2	86.9	20.5	7.9	8.0	24.9	15	" 9. 7
R. Ane	3.7	1.4	2.1	19.5	3.7	67.3	7.6	8.8	8.6	20.0	2.0	1972.10.18
	4.0	0.5	2.5	8.8	4.5	31.0	6.5	8.6	7.6	7.0	20	1973. 1.17
	4.2	0.6	1.7	7.8	5.3	27.6	6.6	8.1	7.8	9.0	27	" 3. 7
	5.0	1.4	2.0	17.0	5.5	56.1	10.0	7.5	8.9	23.5	0.04	" 6.26
	2.5	1.6	1.0	15.1	2.6	47.5	9.6	10.4	7.8	19.0	110	" 6.27
	4.9	1.6	2.3	15.7	4.5	53.6	9.7	7.3	7.8	28.3	9.8	" 9. 7

	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Soluble SiO ₂ mg/l	pH	Water temp. °C	Discharge m ³ /sec	Date of Sampling
R. Yogo	6.3	1.0	2.2	8.7	6.4	34.8	6.7	13.1	7.7	18.8	0.2	1972.10.18
	4.5	0.8	2.4	6.5	5.8	22.7	5.7	9.2	7.1	9.0	5.1	1973. 1.18
	5.4	0.8	1.5	6.2	7.4	20.9	6.4	10.0	7.6	10.5	4.4	" 3. 7
	6.9	1.4	2.7	10.6	7.8	38.5	7.9	11.5	7.0	31.0	0.06	" 7.19
	5.9	1.4	1.9	8.3	7.7	31.9	6.8	9.0	7.4	26.0	1.7	" 9. 7
R. Shiozu	6.7	0.8	0.8	5.6	6.6	21.1	4.3	14.7	7.4	15.2	0.7	1972.10.19
	4.9	0.8	1.4	4.0	6.2	12.1	4.0	10.8	7.0	9.2	5.5	1973. 1.18
	6.3	0.7	1.1	6.5	12.1	12.7	5.3	11.9	7.6	9.5	3.5	" 3. 7
	7.5	1.3	1.0	7.6	8.4	26.0	5.6	15.9	7.1	28.5	0.03	" 7.19
	7.3	1.3	0.8	6.2	7.2	25.5	6.0	14.1	7.2	25.0	0.5	" 9. 7
R. Ōura	6.8	0.8	0.7	5.6	6.6	24.2	4.0	19.0	7.1	14.5	1.1	1972.10.19
	4.4	0.8	1.2	3.3	5.6	11.5	4.6	10.6	6.8	8.1	4.2	1973. 1.18
	6.4	0.7	1.8	3.6	9.2	10.6	5.5	9.3	7.5	8.7	2.9	" 3. 7
	7.7	0.9	1.6	7.3	8.2	29.6	4.6	17.5	7.5	32.8	0.6	" 7.19
	8.1	2.1	0.6	7.3	10.0	28.6	8.6	15.9	7.1	28.0	0.7	" 9. 7
R. Chinai	7.5	0.7	0.7	5.4	5.8	19.7	3.5	12.9	7.7	15.2	0.3	1972.10.19
	4.0	0.5	1.4	3.3	5.5	10.6	4.3	8.6	7.0	8.0	9.1	1973. 1.18
	4.8	0.7	0.8	3.9	7.2	11.5	3.5	10.5	7.4	9.0	9.4	" 3. 7
	5.5	0.8	0.9	6.6	6.6	21.5	4.1	12.2	7.0	31.4	0.05	" 7.19
	8.2	0.9	1.5	7.0	6.1	23.7	6.3	11.0	7.3	26.5	0.2	" 9. 7
R. Hitodōri	5.1	0.7	0.9	6.9	6.2	21.9	4.8	13.1	6.9	14.8	1.1	1972.10.19
	3.9	0.9	1.2	4.8	5.4	14.8	5.4	7.8	6.6	9.5	4.8	1973. 1.18
	5.1	0.9	0.8	5.4	7.5	14.5	4.0	8.7	7.5	10.0	3.6	" 3. 7
	5.4	0.6	1.1	6.8	6.9	20.9	5.4	12.1	6.7	25.0	0.7	" 7.19
	5.8	0.9	0.7	7.2	7.6	23.9	7.0	11.8	6.6	22.4	1.3	" 9. 7
R. Ishida	4.4	0.7	0.9	6.5	5.8	16.2	6.6	6.8	7.6	15.4	0.5	1972.10.19
	4.0	0.6	1.2	3.2	6.0	8.3	3.5	6.4	6.9	8.0	9.8	1973. 1.18
	4.2	1.0	1.1	3.9	6.4	8.8	2.9	6.7	7.2	5.6	1.5	" 3. 8
	5.1	0.9	1.4	6.5	6.1	20.2	7.7	5.2	6.9	24.0	0.4	" 9. 8
R. Ado	3.8	0.8	1.2	6.6	4.2	23.4	6.7	6.9	7.7	15.5	4.8	1972.10.19
	3.4	0.5	1.4	3.6	4.6	12.8	3.3	7.4	7.1	7.0	65	1973. 1.18
	3.6	0.8	0.9	3.9	4.7	13.3	2.9	7.4	7.6	5.9	49	" 3. 8
	4.4	0.8	1.5	7.1	4.9	23.4	5.0	8.8	7.5	29.9	1.6	" 7.19
	4.7	0.9	1.2	7.2	4.5	25.7	7.5	7.3	7.2	27.5	1.4	" 9. 8
R. Kamo	4.6	0.8	0.4	6.2	6.0	20.1	4.2	12.5	7.6	16.2	0.5	1972.10.19
	3.5	0.6	0.9	2.9	4.5	9.5	3.2	9.2	6.9	8.0	17	1973. 1.18
	5.1	0.8	0.7	3.6	5.0	12.3	2.8	10.8	7.6	7.0	5.8	" 3. 8
	6.1	1.4	1.3	11.3	9.6	33.7	6.4	11.9	7.1	22.7	0.1	" 9. 8
R. Wani	5.2	1.0	1.2	9.3	5.3	35.9	5.3	15.9	7.5	15.0	0.4	1972.10.19
	3.3	0.9	1.6	5.3	3.5	14.8	6.5	11.6	7.0	8.6	6.7	1973. 1.18
	4.3	0.9	1.0	7.6	5.5	28.6	4.4	13.7	7.6	9.9	1.5	" 3. 8
R. Mano	5.2	1.0	1.1	8.4	4.6	35.6	4.4	14.7	7.6	15.7	0.6	1972.10.19
	3.2	1.3	1.6	5.4	4.0	15.4	5.5	9.4	7.0	8.7	7.9	1973. 1.18
	5.1	0.9	1.1	8.7	4.7	31.3	6.2	14.0	7.6	7.2	1.1	" 3. 8
	8.7	1.7	2.6	21.0	10.8	71.9	8.4	14.7	7.5	30.4	0.03	" 7.19

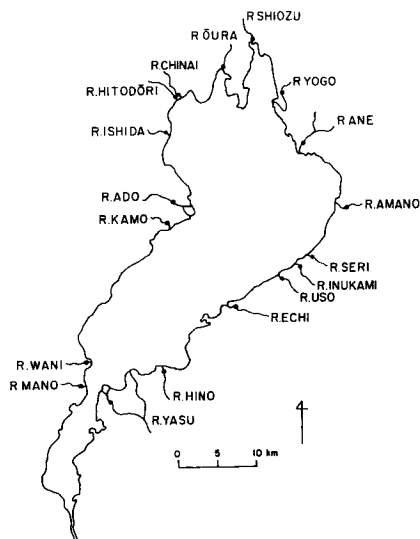


Fig. 1 Map of sampling localities of rivers around Lake Biwa.

点での採水は不可能の河川などがあつたりして、河川によって採水回数が若干ことなっている (Table 1 参照)。試料の分析は Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Soluble- SiO_2 につき実施した。なお採水時に pH, 水温, 流速の測定もおこなつた。Fig. 1 に採水地点を示す。

3. 結果と考察

3.1 水質の季節変動

Table 1 に分析結果を, Fig. 2 に水質の季節変動を示す典型的な例を示す, ただし1973年6月27日の洪水時のデータは短時間の異常出水時の水質を反映しておりこの目的には不適当と考えられるので省略している。

各河川水中の K^+ , Mg^{2+} 含量の季節変動はほとんどみられないが, HCO_3^- 含量は非常に大きな季節変動を示している。他の溶存化学成分量は河川によってことなつた変化を示す。例えば Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} 含量は天野川, 姉川, 安曇川ではほとんど季節変動していないが, 日野川, 野洲川, 犬上川では相当な変動を示している。 Ca^{2+} 含量の変動は野洲川, 日野川, 天野川, 安曇川ではほとんどみられないが, 犬上川, 姉川ではかなりの変動がみられる。Soluble- SiO_2 (以下 SiO_2 と記す) 含量は日野川, 野洲川ではかなりの変動を示しているが, 犬上川, 天野川, 姉川, 安曇川では示していない。

各河川水中の HCO_3^- 含量が最も季節の変動にとむことから流出水量 (以下流量と呼ぶ) と HCO_3^- 含量との関係をみたのが Figs. 3A, 3B, 3C である。これらから流量の増加とともに HCO_3^- 含量が反比例的に減少していく型 (日野, 愛知, 天野, 姉, 塩津, 大浦, 石田, 安曇, 鴨, 真野, 和邇の各河川), 流量の増加とともに HCO_3^- 含量が直線的に減少していく型 (宇曾, 犬上, 余呉, 入通, 知内の各河川), 流量の増減にはほとんど無関係で一定の HCO_3^- 含量を示す型 (野洲川), 流量の増加とともに HCO_3^- 含量は最初減少していくがある流量から増加していく型 (芹川) の4種類に分類することができる。

日野川, 愛知川, 天野川 などのような流量の増加とともに HCO_3^- 濃度が反比例的に減少していく型の河川に対して, HCO_3^- 濃度が流量と無関係にはほぼ一定の値に近づいた時の HCO_3^- 濃度と HCO_3^- の最大濃度との中間値をもって平常時の平均濃度と仮定し, この値に対応する流量をみると日野川, 愛知川, 塩津川,

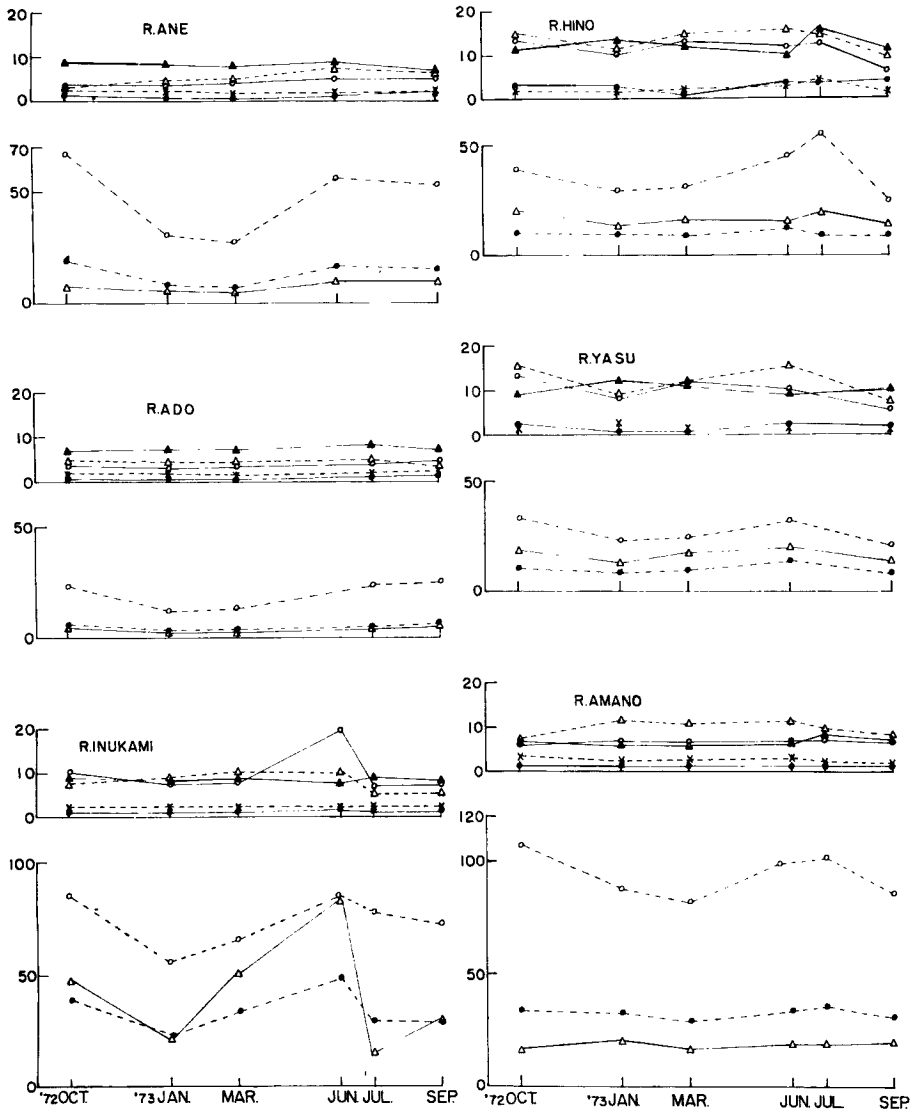


Fig. 2 Variation of the chemical composition concentration of the dissolved salts in typical rivers around Lake Biwa.

—○— Na^+ , —●— K^+ , —●— Ca^{2+} , —×— Mg^{2+} , —△— Cl^- , —○— HCO_3^- ,
—△— SO_4^{2-} , and —▲— Soluble SiO_2

大浦川, 石田川, 鴨川, 真野川, 和邇川は概ね毎秒 1 m^3 前後の流量を, 天野川, 姉川, 安曇川は毎秒 10 m^3 前後の流量を示していることがわかる。そこでこの型の河川で, 天野川, 姉川, 安曇川は毎秒 10 m^3 以下の流量を, これ以外の河川は毎秒 1 m^3 以下の流量を示す時を溶存化学成分の平常時の平均濃度を示しているものとして, これらの流量以下の化学分析値を平均して, 3.2 以下の計算に使用した。なお, 上記の型以外の河川に対しては流域面積から考えて流量毎秒 1 m^3 以下の時の濃度を平常時の平均濃度として同様にとりあつた, ただし野洲川は流量毎秒 10 m^3 以下とした。

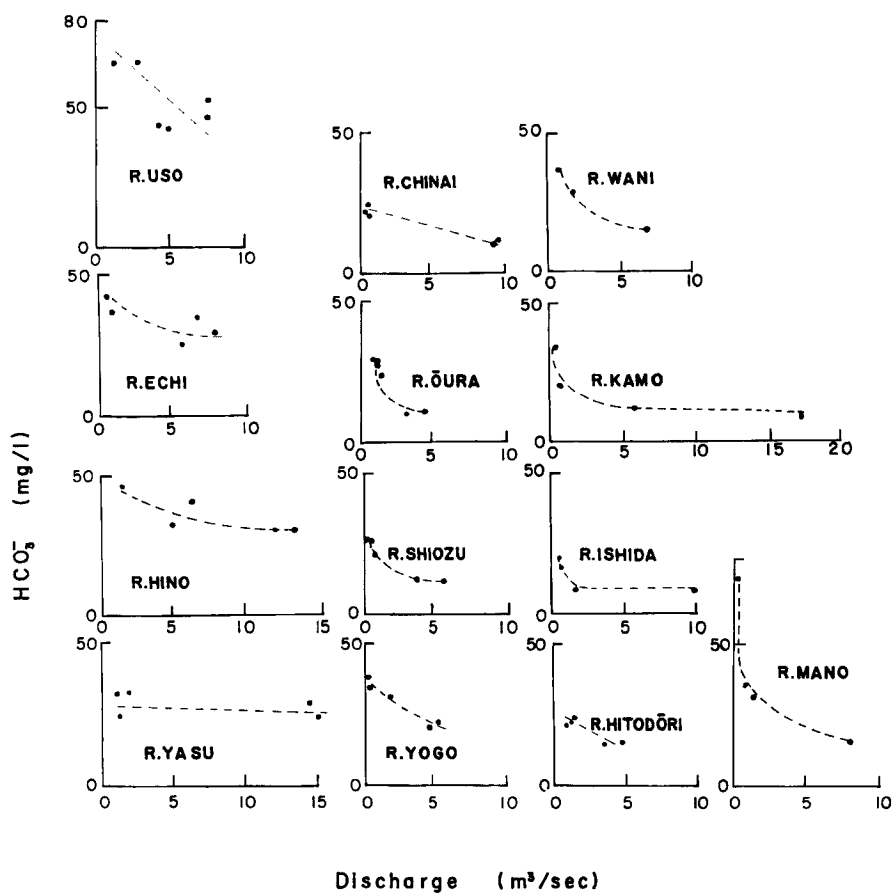
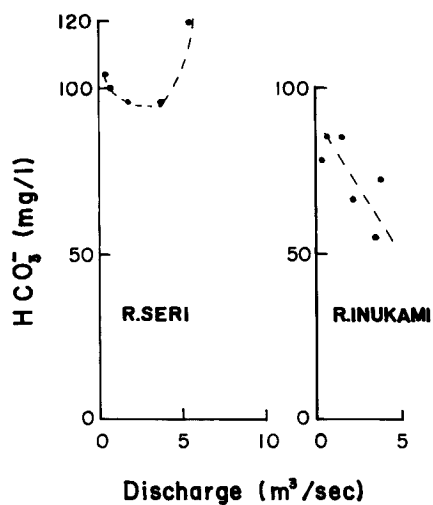
Fig. 3A Plots of HCO_3^- content against discharge of rivers around Lake Biwa.

Fig. 3B Same as Fig. 3A.

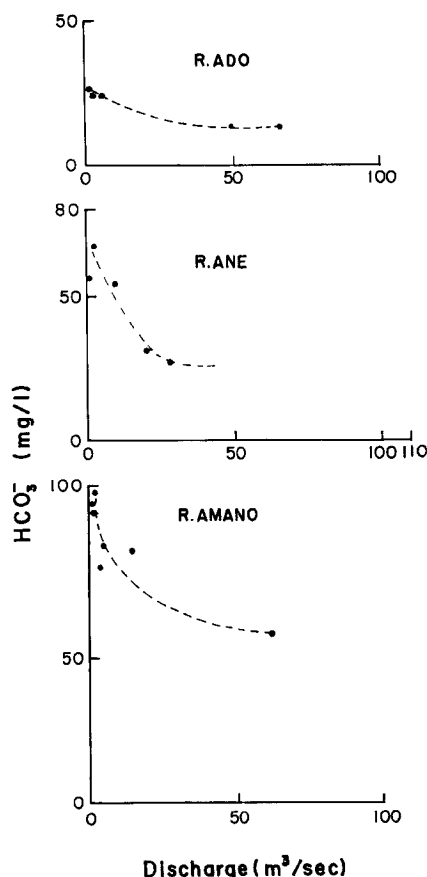


Fig. 3C Same as Fig. 3A.

3.2 びわ湖へ流入する溶存化学成分量の推定

過去85年間の統計によればびわ湖の流出率は約70%である⁵⁾。そこで流出率を70%として降水量⁶⁾から計算した流量と年間当りの溶存化学成分のびわ湖への輸送量（流量×濃度）とを **Table 2** に示す。輸送量は流域面積にほぼ比例していることがわかるが、各河川ごとにくわしくみれば成分によってことなっている。例えば姉川、安曇川は流域面積の割りに Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} の輸送量は小さいが、その反対に天野川、犬上川、芹川、宇曽川は流域面積の割りに Ca^{2+} , HCO_3^- の輸送量は大きいことがわかる。

流域面積と溶存化学成分輸送量との間で最もよい1つの規則性がみられた SiO_2 についての関係を **Fig. 4** に示す。流域面積約 110 km^2 までは、流域面積が大きくなるにつれて SiO_2 の単位面積当りの年間の輸送量は減少しているが、約 110 km^2 以上の流域面積では愛知川を除くと単位面積当り 11 トン前後とほぼ一定の値を示している。流域面積約 60 km^2 以下の河川では SiO_2 の単位面積当りの輸送量は高い値を示している。このことは比流量が $0.9 \sim 1.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ と河川によってそれ程大きな差がないことから SiO_2 濃度が強く影響しているものと考えられる。事実これらの流域での SiO_2 濃度は他の流域に比較して高い値を示している。また芹川、天野川の SiO_2 の単位面積当りの年間輸送量は 6 ～ 7 トンと低い値を示している。これは両河川の源流が石灰岩地帯のためであろう。

Table 2 Mass transport rate of the dissolved salts of the rivers flowing into Lake Biwa.

	DRAINAGE AREA (KM ²)	PRECIPITATION x10 ⁹ Tn (MM/YEAR)	DISCHARGE x10 ⁸ M ³ /YEAR	Na ⁺		K ⁺		Mg ²⁺		Ca ²⁺		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		SO ₄ ²⁻		Soluble SiO ₂		OBSERVED LOCALITIES OF PRECIPITATION
				TON/YEAR·KM ² x10 ³	TON/YEAR·KM ² x10 ²	TON/YEAR·KM ² x10 ²	TON/YEAR·KM ² x10 ²	TON/YEAR·KM ² x10 ²	TON/YEAR·KM ² x10 ²	TON/YEAR·KM ² x10 ³	TON/YEAR·KM ² x10 ³	TON/YEAR·KM ² x10 ³	TON/YEAR·KM ² x10 ³	TON/YEAR·KM ² x10 ³	TON/YEAR·KM ² x10 ³	TON/YEAR·KM ² x10 ³	TON/YEAR·KM ² x10 ³	TON/YEAR·KM ² x10 ³	TON/YEAR·KM ² x10 ³	
R. Yasu	421	990	4.2	4.6	11	9.6	2.3	8.8	2.1	5.2	12	5.8	14	12	29	7.8	19	4.4	10	T. Minaguchi
R. Hino	229	884	2.0	2.4	10	7.7	3.4	7.1	3.1	2.9	13	3.0	13	10	44	3.5	15	2.5	11	T. Hino
R. Echi	259	1348	3.5	2.3	8.8	5.6	2.2	7.7	3.0	5.4	21	2.7	10	15	58	5.2	20	3.8	15	Mandokoro
R. Uso	69	1041	0.72	0.56	8.0	1.5	2.2	2.1	3.0	1.7	25	1.1	16	4.7	67	1.2	17	0.76	11	C. Hikone
R. Inukami	110	"	1.2	1.0	9.1	1.7	1.6	3.1	2.8	3.9	36	0.85	7.7	9.4	85	3.6	33	1.0	9.5	C. Hikone
R. Seri	69	"	0.72	0.35	5.1	0.93	1.4	2.3	3.3	2.4	35	0.68	9.8	7.3	110	0.70	10	0.42	6.0	C. Hikone
R. Amano	113	"	1.2	0.83	7.3	1.7	1.5	3.7	3.2	4.0	35	1.1	10	11	100	2.2	20	0.80	7.1	C. Hikone
R. Avne	431	1418	6.1	2.8	6.4	9.2	2.1	13	3.0	1.1	25	2.8	6.5	36	84	5.6	13	4.8	11	V. Yoshitsuki
R. Yogo	69	1181	0.82	0.54	7.8	0.98	1.4	2.0	3.0	0.79	11	0.58	8.4	3.0	43	0.60	8.6	1.0	15	T. Kinomoto
R. Shiozu	23	1385	0.32	0.23	10	0.35	1.5	0.29	1.2	0.21	9.0	0.24	10	0.78	34	0.17	7.3	0.48	21	V. Nakanogo
R. Ōura	25	"	0.35	0.28	11	0.53	2.1	0.39	1.5	0.26	10	0.32	13	1.0	40	0.22	8.7	0.59	23	V. Nakanogo
R. Chinai	52	"	0.72	0.51	9.8	0.58	1.1	0.72	1.4	0.45	8.7	0.45	8.6	1.6	30	0.33	6.4	0.86	17	V. Nakanogo
R. Hitodōri	17	"	0.24	0.13	7.5	0.14	0.8	0.26	1.5	0.16	9.4	0.16	9.5	0.49	29	0.13	7.5	0.28	17	V. Nakanogo
R. Ishida	60	1300	0.78	0.37	6.2	0.62	1.0	0.93	1.6	0.50	8.5	0.47	7.8	1.4	24	0.56	9.4	0.53	8.8	T. Imazu
R. Ado	314	1534	4.8	2.1	6.6	3.9	1.2	6.3	2.0	3.4	11	2.2	6.9	12	37	3.1	9.8	3.7	12	V. Ichiba
R. Kamo	48	"	0.73	0.40	8.3	0.81	1.7	0.66	1.4	0.64	14	0.57	12	2.0	41	0.39	8.1	0.89	19	V. Ichiba
R. Wani	16	1203	0.19	0.10	6.3	0.19	1.2	0.22	1.4	0.18	11	0.10	6.4	0.68	43	0.10	6.4	0.30	19	T. Katada
R. Mano	20	"	0.24	0.17	8.5	0.34	1.7	0.46	2.3	0.35	18	0.19	9.3	1.3	65	0.15	7.7	0.35	18	T. Katada

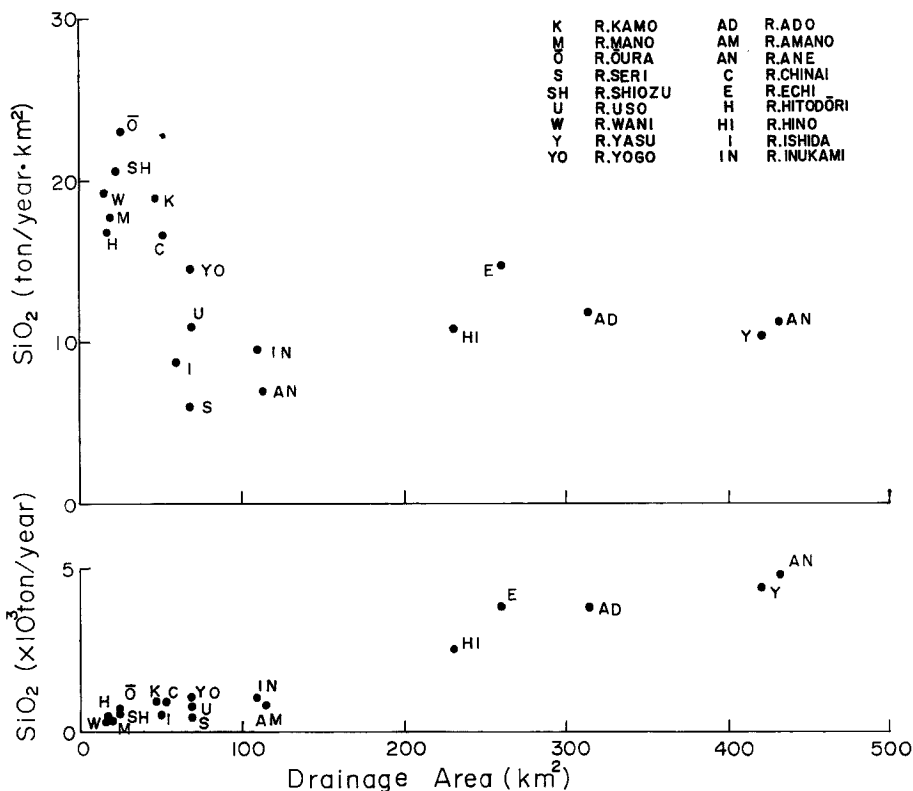


Fig. 4 Plots of SiO_2 transport rate against drainage area of rivers around Lake Biwa.

Table 2 からわかるようにびわ湖への溶存化学成分の輸送量の約半分は流域面積の大きい姉川、野洲川、安曇川の3河川によってなされている。すなわち対象流域全体に対する各成分の輸送量は Na^+ 48%, K^+ 49%, Mg^{2+} 47%, Ca^{2+} 44%, Cl^- 46%, HCO_3^- 46%, SO_4^{2-} 46%, SiO_2 47% となる。なお3河川が占める流域面積は対象流域の50%にあたり、流量は53%であった。

また調査対象流域全体からびわ湖へ輸送される溶存化学成分総量は 2.9×10^5 トン/年となり、 1 km^2 からの輸送量は120トン/年となる。この値は小林⁷⁾が見積った日本平均 1 km^2 からの輸送量105トン/年より若干高い値を示している。

前述のように著者らが対象とした流域面積は全流域面積の70%であるから、全流域からびわ湖へ輸送される溶存化学成分量は単純に比例計算すると Na^+ 2.8×10^4 トン/年、 K^+ 6.6×10^3 トン/年、 Mg^{2+} 8.5×10^3 トン/年、 Ca^{2+} 6.2×10^4 トン/年、 Cl^- 3.3×10^4 トン/年、 HCO_3^- 1.9×10^5 トン/年、 SO_4^{2-} 5.1×10^4 トン/年、 SiO_2 3.9×10^4 トン/年となる。

3.3 粘土鉱物生産量の推定^{8,9,10)}

一般に天然水中の化学成分の量は (i) 岩石・土壌に由来する成分、(ii) 降水・降水物に由来する成分、(iii) 人間活動に由来する成分、(iv) 火山・温泉に由来する成分の供給量によって決る。ここで粘土鉱物の生産量を求めるということは、とりもおさず (i) の項による成分の供給量を求めることにはかならない。(iv) の項が関与するのは特別な場合であるから無視できる。そこで (ii), (iii) の項から由来する成分の量と (i) から供給する成分の量を分離しなければならない。特別な堆積岩を除いては Cl^- , SO_4^{2-} は岩石から供給されないから、(i)

と (ii), (iii) の分離にはこれらの成分を用いる。すなわち、天然水中の Cl^- , SO_4^{2-} は (ii), (iii) の項から供給されるものであるから、この2成分を天然水中から除くということは (ii), (iii) の項から供給される成分量を除くということにほかならない。そこで Cl^- は海水組成比と同じ比率にして SO_4^{2-} は Ca^{2+} と等量にしてそれぞれ天然水中から差引く。次に水中の Na^+ の35%のうち25%は Ca^{2+} と10%は K^+ とイオン交換するものとし、最後に全陽イオンの電荷と HCO_3^- とを電気的に中和になるように調整する。このようにして得られた水中の Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} の量はとりもなおさず (i) の項、すなわち岩石・土壤から溶け出た量である。これらの成分の供給となる鉱物種は一義的には黒雲母、正長石、斜長石、石灰石、石英の5種類であると考えられる。これらの鉱物が CO_2 を含む水と反応すると次の式ようになる：

- (1) $2\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 14\text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 2\text{K}^+ + 6\text{Mg}^{2+} + 14\text{HCO}_3^- + 4\text{SiO}_2$
- (2) $2\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 2\text{K}^+ + 2\text{HCO}_3^- + 4\text{SiO}_2$
- (3) $2\text{Na}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Al}_{1.5}\text{Si}_{2.5}\text{O}_8 + 3\text{CO}_2 + 4.5\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 1.5\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + 3\text{HCO}_3^- + 2\text{SiO}_2$
- (4) $\text{Na}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{Al}_{1.5}\text{Si}_{2.5}\text{O}_8 + 2.6\text{CO}_2 + 2.58\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 1.28\text{Ca}_{0.17}\text{Al}_{2.33}\text{Si}_{3.67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + \text{Na}^+ + 0.79\text{Ca}^{2+} + 2.6\text{HCO}_3^- + 0.31\text{SiO}_2$
- (5) $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$
- (6) $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_4\text{SiO}_4$

(quartz,
amorphous silica)
(dissolved
silica)

すなわち、 Mg^{2+} は(1)式の黒雲母の分解反応によってカオリンの生成と同時に水中に供給され、 K^+ は(1)式と(2)式の正長石の分解によるカオリンの生成時に供給され、 Na^+ は(3)式の斜長石が分解してカオリンを生成する時と(4)式のモンモリロナイトが生成する時に供給され、 Ca^{2+} は(3)、(4)式と(5)式の石灰石の分解時に水中へ供給される。また SiO_2 は(5)式以外のすべての分解反応式から供給されることがわかる。

粘土鉱物の生産量を推定するには(3)、(4)式で斜長石が分解して生成されるカオリンとモンモリロナイトとの量比を一定にし、上記の諸分解式を解き、それに流量をかけると所要の粘土鉱物の量が求まる。

3.1 で求めた平常時の平均分析値を用いてカオリンとモンモリロナイトの比を10とした場合と5とした場合の2通りの計算をおこなった結果、カオリンの生産量はほとんど同じ値を得たが、モンモリロナイトの生産量は前者の仮定で計算した場合後者の約1/2となった。**Figs. 5, 6** は前者の仮定で計算した場合のそれぞれの粘土鉱物生産量を示したものである。

カオリンの年間当りの生産量は姉川 1.1×10^4 トンと他の河川にくらべて断然多く、次に野洲川、安曇川、日野川、愛知川、犬上川の約 5×10^3 トン前後となり、概ね流域面積の大きい河川では多く生産されている。

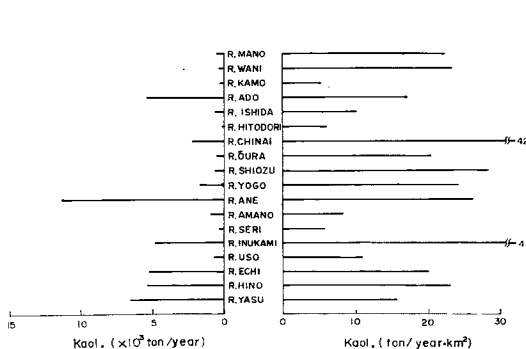


Fig. 5 Estimate of amounts of kaolinite produced by weathering processes through the chemical compositions of the rivers around Lake Biwa.

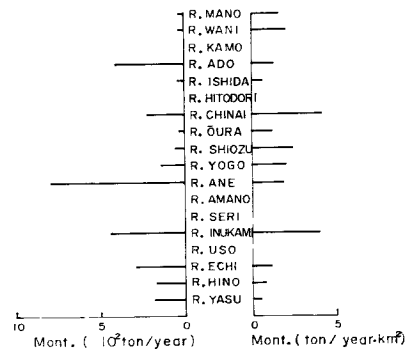


Fig. 6 Estimate of amounts of montmorillonite produced by weathering processes through the chemical compositions of the rivers around Lake Biwa.

単位面積当りの年間のカオリンの生産量をみると犬上川、知内川で42～44トンと断然多く、年間当りの生産量が少なかった真野川、和邇川、大浦川、塩津川といった流域面積の小さい河川で20～28トンと多くなっているのが特徴的である。

モンモリロナイトの生成は宇曾川、芹川、天野川、人通川、鴨川ではみられなかった。この場合も年間当りの生産量は姉川が790トンと一番多く、次いで安曇川、犬上川の400トンとなる。単位面積当りの年間の生産量をみるとカオリンの場合と同じく犬上川、知内川が4トンと最も多くなっている。また年間当りの生産量が少なかった真野川、和邇川、塩津川が比較的多く、野洲川、日野川、愛知川といった流域面積の大きい河川での生産量が小さくなっているのが特徴的である。

単位面積当りの年間のカオリンとモンモリロナイトの生産量の和の大きい河川から順にならべると、犬上川、知内川>塩津川>姉川、余呉川、真野川、和邇川>日野川>大浦川、愛知川>安曇川>野洲川>宇曾川、石田川>天野川>人通川、芹川、鴨川となる。これがとりもおさず水質の面からみた風化、侵食の程度を表わしているものと考えられる。従来、最も風化しやすい石灰岩地帯を源流としている天野川、芹川がただこの順序で下位にあるのは石灰岩の溶解が卓越してこれらの粘土鉱物の年間当りの生産量が非常に少ないためである。

なおびわ湖流域で1 km² 当り年間に生産されるカオリンは20トンで、モンモリロナイトは1.2トンとなる。

4. 結 語

びわ湖へ流入する主要な18河川の水質調査の結果から次のようなことがいえる：

1) HCO₃⁻ 含量は非常に大きな季節変動を示すが、K⁺、Mg²⁺ 含量はほとんど季節変動を示さない。他の溶存化学成分は河川によってことなった様相を呈する。

2) HCO₃⁻ 含量と流量の関係から18河川を4種類にグループわけした。

3) Soluble SiO₂ の単位面積当りの年間輸送量は流域面積約 110 km² までは負の関係が存在し、それ以上からはほぼ一定の値を示した。

4) 調査対象全流域からびわ湖へ輸送される溶存化学成分総量は 3×10^5 トン/年となり、1 km² からの輸送量は120トン/年となる。

5) 単位面積当りの年間の粘土鉱物生成量の大きさは犬上川、知内川>塩津川>姉川、余呉川、真野川、和邇川>日野川>大浦川、愛知川>安曇川>野洲川>宇曾川、石田川>天野川>人通川、芹川、鴨川となり、これらの流域で1 m² 当り年間に生産されるカオリンは20トンで、モンモリロナイトは1.2トン程度であった。

最後に、本研究を遂行するに当り終始御指導と御教示を賜った名古屋大学水圏科学研究所北野康教授に対し深甚なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小林純：滋賀県農政資料第1号，昭27.
- 2) 滋賀県水産試験場資料，昭40.
- 3) 板坂修・大山泰博・川崎睦男・堀太郎：びわ湖ならびに大津市の水質について，滋賀大学湖沼研究所論文集，No. 12，昭47，pp. 6-16.
- 4) 東京天文台編：理科年表，昭38.
- 5) 滋賀県企画部総合開発局：人間・自然・びわ湖，昭46.
- 6) 彦根地方気象台：滋賀県気象月報，昭47，昭48.
- 7) 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，第48巻，昭35，pp. 63-106.
- 8) Garrels, R. M. and F. T. Mackenzie: Origin of the Chemical Composition of Some Springs and Lakes, in Gould, R. E. (ed.), Equilibrium Concepts in Natural Water Systems, Adv. in Chemistry, Amer. Chem. Soc. Publ. 67, 1967, pp. 222-242.

- 9) 吉岡龍馬・奥田節夫：水質からみた亀の瀬地すべり地帯の粘土鉱物生産量の推定，京都大学防災研究所年報，第15号 B，昭47，pp. 171-182.
- 10) 北野康・中村誠佑：山崩れと水質，施工技術，第 6 巻第 7 号，昭48，pp. 17-24.