

タイ国河川の化学成分の溶出機構

瀬野錦蔵*
小林純**
湯原浩三*

§1. 緒言

河水の利用には必然的にその水質が問題になる。例えば、酸性の水質であれば、水力発電に際して管の腐蝕の問題がおこり、灌漑用水としても不適である。一方有用なイオンとしてはカリウムをはじめ多くのイオンがある。これらは河水中には少量であっても、集まればその効果は大きい。この様な利用の立場を別にしても、河水中の化学成分の起源や溶出機構は学問的に興味ある問題である。

著者の一人小林は日本の河川について水質を明かにし、次いで調査範囲をアジア地域に拡げつつある。先ずタイ国のメコン河、メナム河とそれらの支流の約30カ所の地点に於て、1956年7月より1957年6月まで、月一回の採水を行い、その水質分析を行った。¹⁾

そこで本稿は、これらの資料にもとづいて、タイ国河川水質の場所的变化、季節的变化について論じ、更にそれら化学成分の溶出機構や起源について考察を試みようとするものである。

河水の化学成分の起源を考えると、河川流域の地質を考えないわけにはゆかないが、タイ国の地質や岩石の分布について詳細な資料は得られなかった。ただ拓務省編の馬來半島地質図²⁾よりタイ国地質の概略を参考にしたに止まった。

§2. 主要河川の上流と下流での水質の比較

Cl 量の年平均分布図(図1)をみると、メナム河では下流ほどCl量が大きい、メコン河支流域では等値線が閉じて極大が出来ている。下流ほどCl量が多いメナム河の場合は、Clの起源を海塩に由来するものと考えたのも無理ではないであろう。一方メコン河支流域の場合には、海塩由来と考えるよりも、地層中からの溶出とみる方が適切である。この事はこの地域に岩塩があるといわれている事³⁾に対応する。

河水は上流より下流に流下するにつれて流量が増加する。一般に下流になって流域が急に拡がる時は、上流の効果は相対的に小さくなる。従って一つの流れに沿った成分濃度の値は、

* 京都大学理学部

** 岡山大学農業生物研究所

各採水点間の流域の化学成分の示標と考えることが出来る。たとえば上流と下流の二点で Cl 濃度が等しいということは、上流から流れて来た河水の Cl 濃度と、前記二地点間から流入した水の Cl 濃度が等しいことを意味する。上流点より下流点の方が Cl 濃度が大きいときは、上流からの薄いものまで補うから、二点間で流入した水の濃度は下流点で測定されたものよりも濃い。下流の方が薄い時は反対の事が考えられる。

メコン河支流の No.5 No.6 採水点では HCO_3 には大差がないが、Cl にはかなりの差がある。今、No.5 No.6 に於けるある成分の濃度を C_5, C_6 、二点間で供給される成分の濃度を C_{56} とし、それぞれに対応する流量を f_5, f_6, f_{56} とすると、

$$f_5 + f_{56} = f_6$$

$$C_5 f_5 + C_{56} f_{56} = C_6 f_6$$

なる関係があるから、これより

$$C_{56} = C_6 \frac{f_6}{f_6 - f_5} - C_5 \frac{f_5}{f_6 - f_5}$$

が得られる。 f_5, f_6 の測定値はないので、これらの流量は流域面積に比例するとすると、 C_5, C_6 の実測値から Cl, HCO_3 のそれぞれについて C_{56} を計算することが出来る。その結果を表 I に示す。

HCO_3 は上下流に差が少いから No.5 と No.6 の間の HCO_3 も No.6 とあまり変らない。しかるに Cl は上下流ではなはだしくことなり、流域面積もあまり増加していないので、No.5 と No.6 の間の流域で供給される Cl 量はかなり濃厚なものでなければならない事になる。

メコン河本流に No.1, No.2, No.3 の 3カ所の採水点があるが、この三点の化学成分は絶対

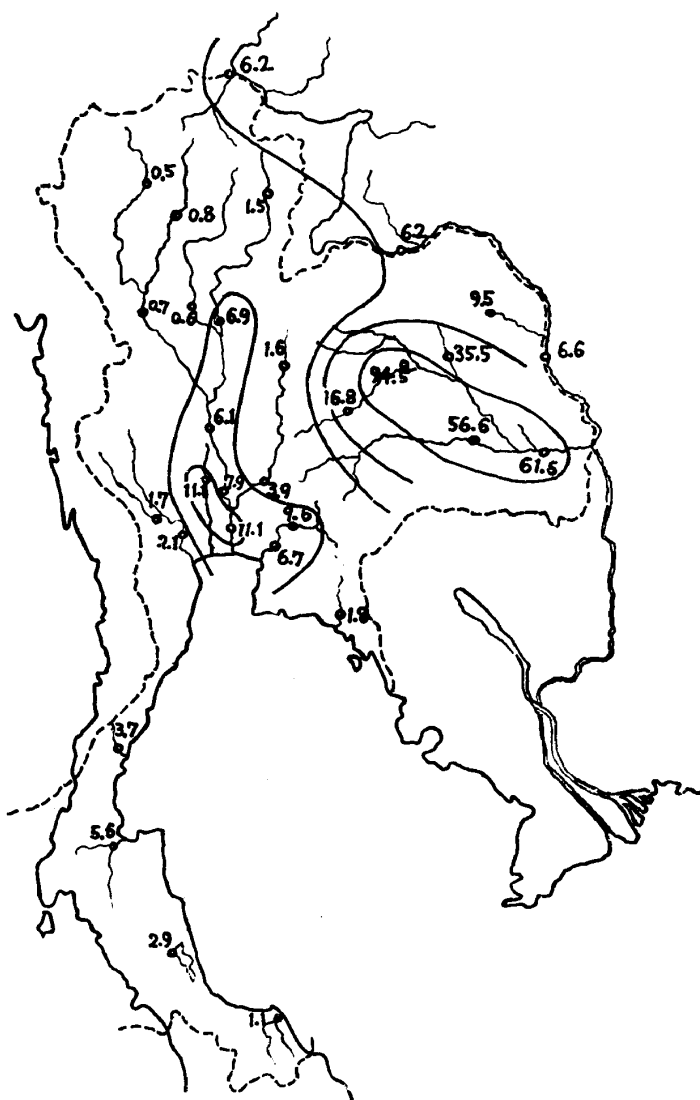


図 1 タイ国主要河川の Cl 量の年平均分布(mg/l)

表 I

採 水 点	流域面積km ²	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l
No.5	6390	16.8	76.7
No.6	14270	94.5	69.7
No.5 No.6 の間の計算値		158.	64.2

値もその変化も殆んど同じである。三点の距離は短くないが、上に考えた様なことからいえば、各流域から寄与する化学成分が同様であるとみられる。

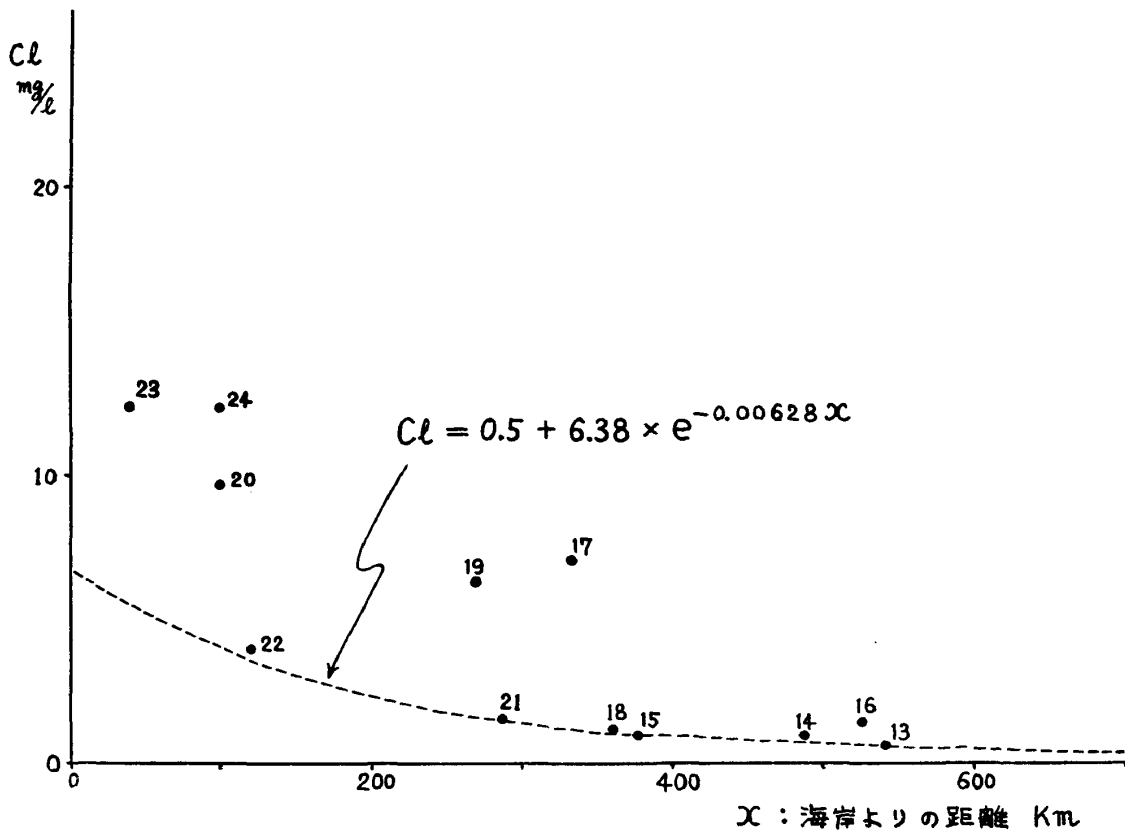


図 2 メナム河の平均 Cl 量と海岸よりの距離，数字は採水点の番号

メナム河の Cl 濃度が海に近いほど大きいことを更に明らかにするために、Cl 濃度と海岸よりの距離を両軸にとって図示すると図 2 が得られる。これを見れば各点は必ずしも整列しないが、相互に比較的近い採水点がそれぞれ群をつくっていて、各群の最低値を結ぶと Cl 濃度と海岸よりの距離 x の間には次式の様な関係がある。

$$(Cl) = 0.5 + 6.38 \times e^{-0.00628x}$$

これを Leeflang⁴⁾ がオランダで得た式

$$(Cl) = 0.30 + 11.7 \times e^{-0.525x} + 3.0 \times e^{-0.023x}$$

と比較すると、タイではオランダに比して減衰係数がはなはだ小さく、海岸からかなりはなれた所でも Cl はかなりの濃度をもっている。このことは Cl の起源が風塩や雨水中の溶解物として直接海から運ばれて来たものとばかり考えられなくて、地層中に封入された海水や海塩によるものも否定し難いことを示している。タイでは乾季は北東風が卓越し、風塩を内陸奥地に運ぶことは稀であろう。雨季は西南風が卓越し、海塩が雨水中に入ることはあり得るが、雨季増水時の河水は海岸近くといえども $Cl \approx 0$ であるから、降雨初期には Cl 源の一部は風塩であっても、後期にまで Cl の源を風塩をもってゆくのはむつかしいと思われる。

§3. イオン相互の関係と溶出機構

メコン河支流、メナム河及びその支流では SO_4 は特に少く、中には零に近いものもある。この理由は明らかではない。 SO_4 の源としては耕地での硫酸の撒布や FeS_2 の存在によることが考えられ、日本では温泉や鉱山の影響も著しいが、タイではそれらがほとんどないことになる。

タイ国東部のコラート高原を流れるメコン河支流の化学成分には Cl, HCO_3 , Na, Ca が特に多いことが目立つ。これは石灰岩、岩塩があるといわれるこの地域では当然のことである。今試みに、コラート高原のチイ川（採水点 No.6）の月々の値について Ca と HCO_3 , Na と Cl を対応させると図3のようになり、それぞれ NaCl,

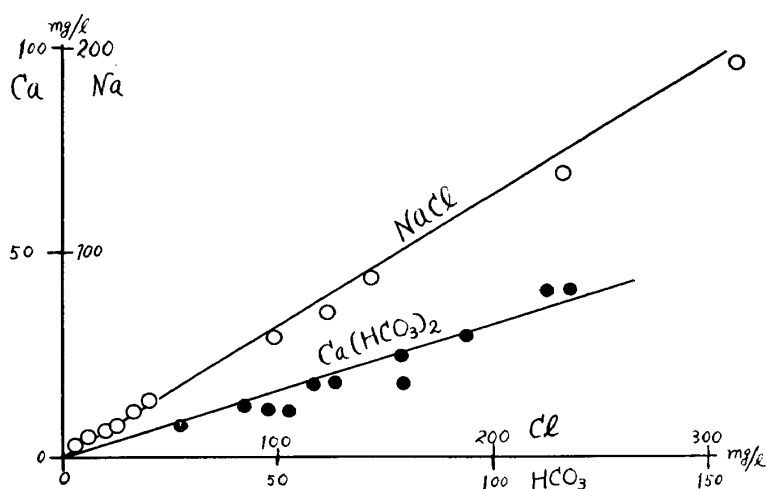


図 3 チイ川（メコン河支流、コラート高原）No. 6 に於ける Na と Cl 及び Ca と HCO_3 の対応

$Ca(HCO_3)_2$ の直線に近ずいている。このことは、他の成分もあるにはあるが、これらのイオンが主として NaCl, $Ca(HCO_3)_2$ として溶解してくることを示している。

石灰岩をとかして $Ca(HCO_3)_2$ とするためには、 CO_2 が水に多く溶けることが必要である。小穴⁹⁾によれば、空気中の CO_2 が水に溶けて HCO_3 を作れば水溶液はアルカリ性となつてますます CO_2 を溶解するという。しかしこれは水と大気が直接接しているときには可能であるが、地下水についてこの様な機構を考えるのはやや困難である。即ち地下水に接している地中空気はそう簡単に出入しないし、 CO_2 のみを吸込むわけにもゆかない。したがって、地中で有機物の分解によって生じる CO_2 が石灰岩を溶解するに重要な役目を果しているのであろう。

Cl と HCO_3 の間には、ばらつきがあるがほぼ一次的相関が成立する。(図4)。この程度の誤差を無視して、ほぼ全採水点について相関々係を示したものが図5である。この図で注目すべき点は $\text{Cl} \approx 0$ となっても HCO_3 は零にならないことである。 $\text{Cl} \approx 0$ ということは地下水

流出がほとんどないということを示しており、 HCO_3 は表面流出として出て来る水の中に含まれていることになる。しかし、表面流出といっても中間流出に属するものであろう。即ち地下深く保留されている水が有機物質の分解による CO_2 を吸って H_2CO_3 をつくる機会が多いからである。

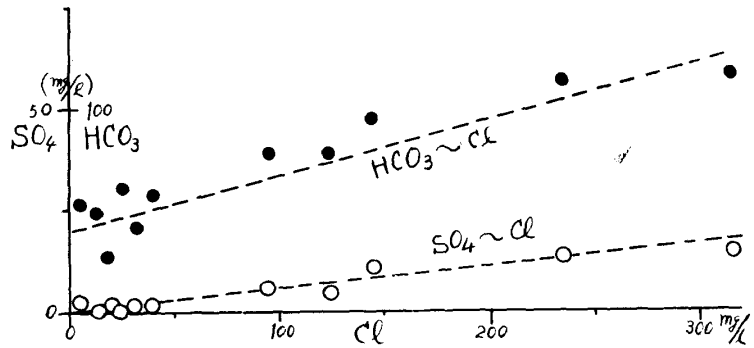


図4 チイ川 No.6 に於ける HCO_3 と Cl 及び SO_4 と Cl の対応

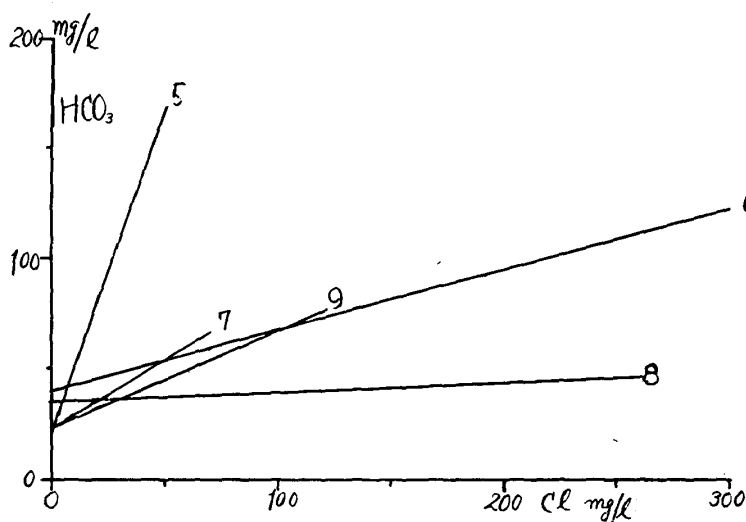


図5(a) コラート高原での河水の HCO_3 と Cl の対応

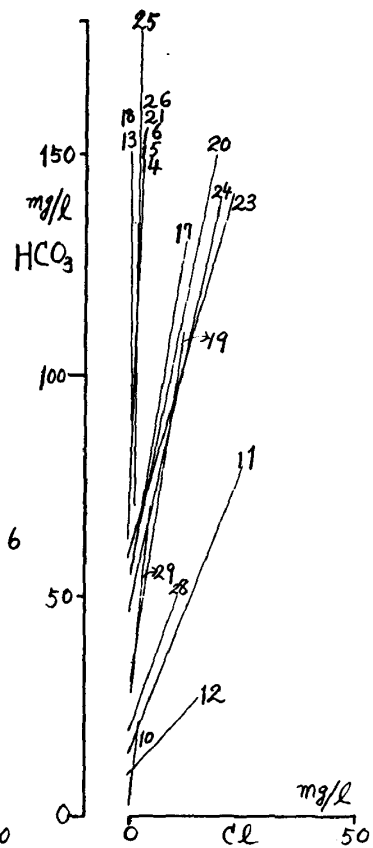


図5(b) メナム水系の HCO_3 と Cl の対応

メナム河支流において Ca と HCO_3 の対応図をつくると、両者はほぼ直線関係を示しているが、Ca は HCO_3 に対して当量として不足しており、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ としてのみ存在しているのではないことを示している。これに反して、当量として $[\text{Ca}] + [\text{Mg}]$ と $[\text{HCO}_3]$ を対応させると、図6の様にはほぼ等しい当量関係が得られる。もっとも、細かくみればこれ以外の成分も当然関係しているので、多少のばらつきはやむを得ない。とにかくこの様な関係のあることは、 CaCO_3 を溶かしているの

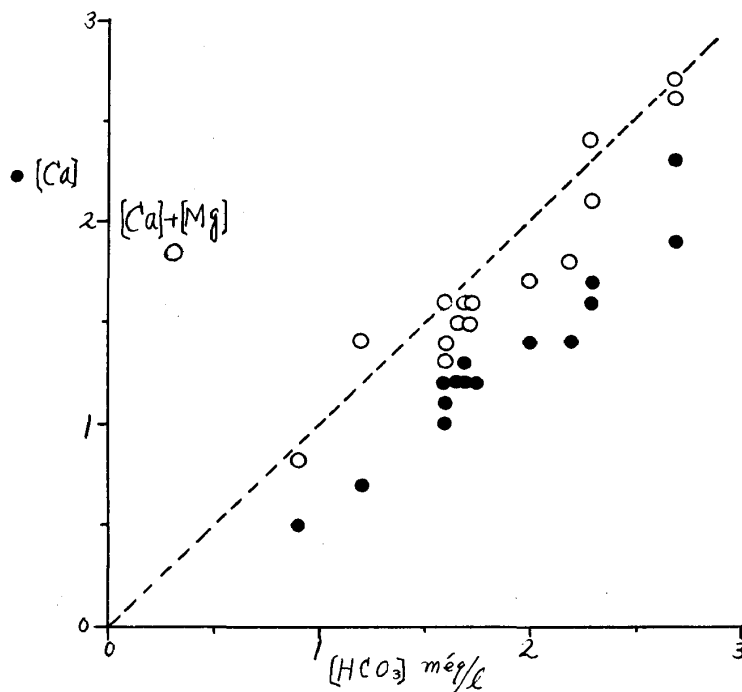


図 6 メナム水系の各採水点に於ける $[\text{HCO}_3]$ と $[\text{Ca}] + [\text{Mg}]$ の対応

みならず、 CO_2 の作用によって他の成分をも溶出しているとみななければならない。或は、時として、ドロマイト $(\text{CaMg})\text{CO}_3$ を溶かしていると考えるのが適当であろう。

メナム河流域は Ca や HCO_3 に比して Na や Cl が少い。今、採水点 No.20 について、Na と Cl を Ca や HCO_3 に比して10倍にひきのぼして表示してみると、図7に示す様に、やはり明らかに一次関係を示し、NaCl の線上にはのらないが、この線に平行している。これは Na が NaCl としては過剰であって、その分は HCO_3 と結びつくべきものであるが、変化は NaCl の増減が主であることを示している。又、メナム河のある例では、図8に示す様に Na が NaCl にも平行せず急な変化を示している。これも Na が

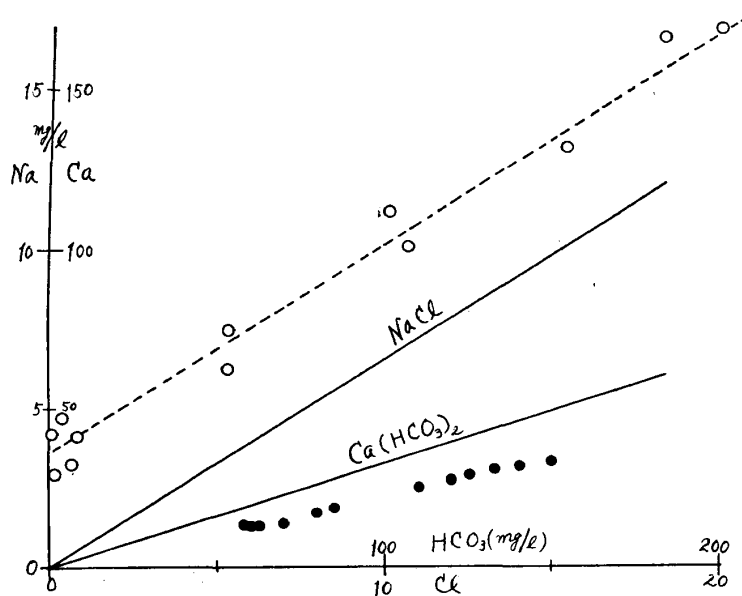


図 7 メナム河 No.20 に於ける Na と Cl 及び Ca と HCO_3 の対応

NaCl として溶出し、更にその上 NaHCO_3 としても溶出していることを物語っている。したがって CO_2 を溶かした水によって溶出されるのは、一般に Ca, Mg, Na, であって、図9に示すように、Ca と Mg, Ca と Na との間には一次相関がある。Ca と Mg は二価元素として行動を共にすることから納得できるが、Ca と Na とは直接の相関とはいえない。一方Kは中に二三 Na と共に増加するのがあり、これは岩塩中に KCl

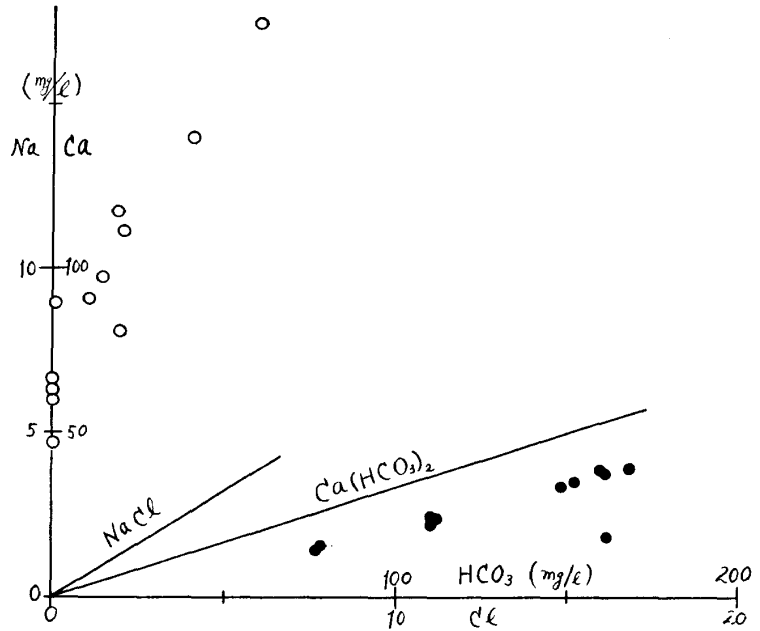


図 8 メナム河 No.21 に於ける Na と Cl 及び Ca と HCO_3 の対応

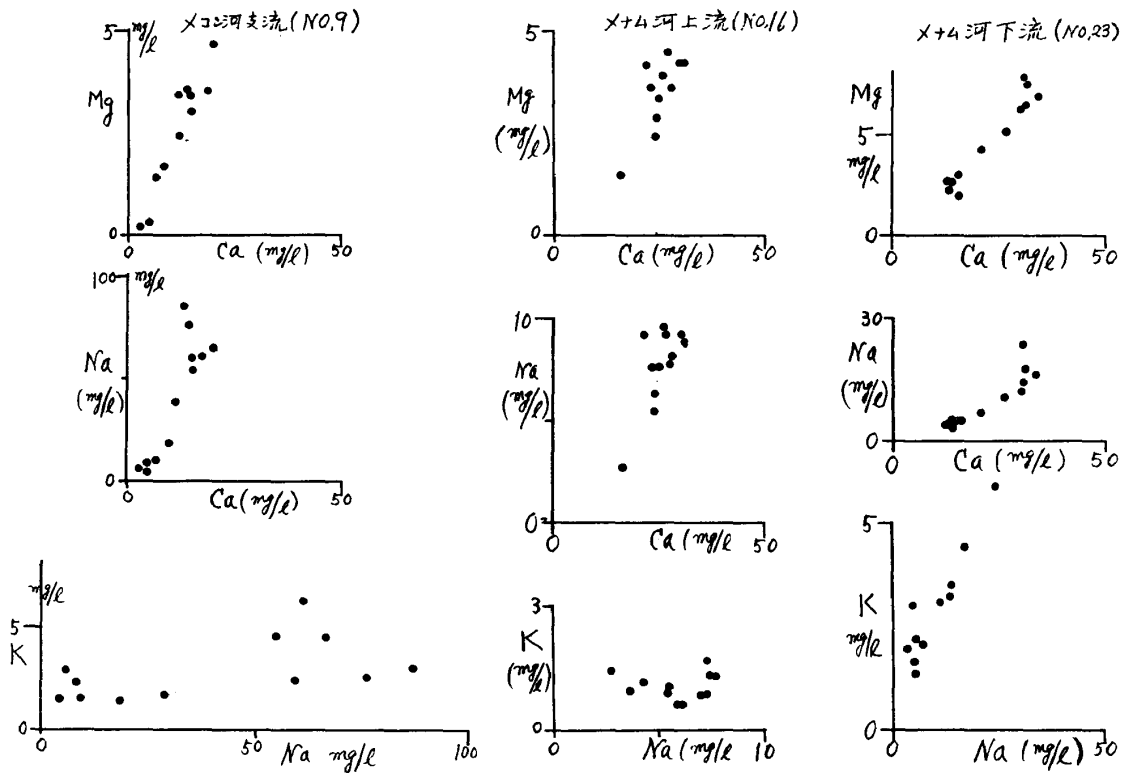


図 9 No.9, No.16, No.23 に於ける Ca と Mg, Ca と Na 及び Na と K の対応

としてあるためとも思われるが、一般にKの絶対量が少く、他のイオンとの相関はあまり明らかではない。

SiO₂ も他の化学成分と同様、一般には地下流出に多く表面流出に少い。しかし出水時の様に河水中に微細な砂、泥、粘土を浮遊しているときは、これらの微粒子から SiO₂ が溶出することもあり得ると思われる。実際図10に示す様に、タイ国河川の SiO₂ の年平均値を浮遊物量の年平均に対比してみると、極めて大ざっぱであるが、浮遊物が多いときに SiO₂ が多い様な傾向さえ見える。それぞれの採水点の年変化についてみると、この様な傾向の保たれているものは数点しかないけれども、(図11)、相関は前図よりも良好である。他の採水点では SiO₂ の変化が他の化学成分の変化と平行しているもの、又無関係なもの等があって、それらの傾向が地理的にはっきりした分布をしているわけでもない。

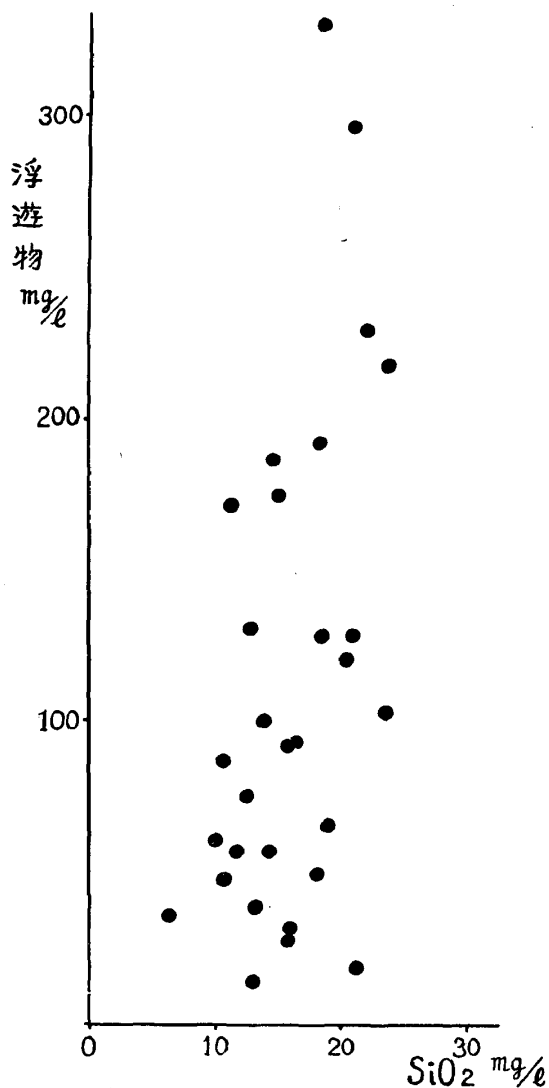


図 10 各点の年平均値でみた浮遊物と SiO₂ の対応

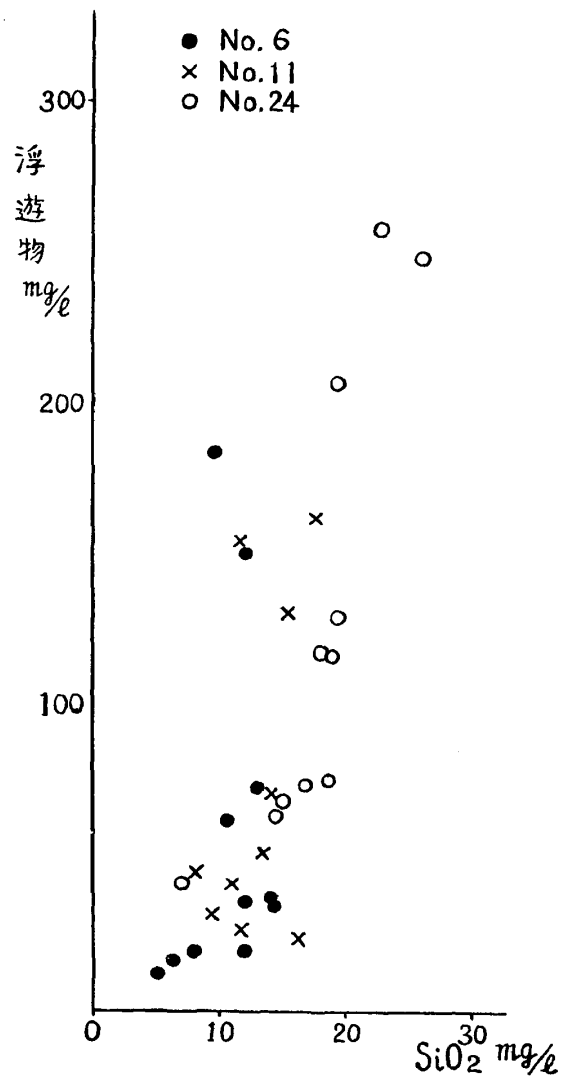


図11 No. 6, No.11, No.24 に於ける浮遊物と SiO₂ の対応

4. チャオプラヤ河の流量と水質の関係

タイ国統計局発表のチャオプラヤ河の流量観測値⁶⁾を表Ⅱに再録する。

表Ⅱ チャオプラヤ河の流量(観測点, Wat Thahat)

観 測 日			流 量	平 均 値*	
1956年	8月	11日	1,621 m ³ /sec	1,843	
		21	2,065		
	9月	11	2,427	2,617	
		21	2,807		
	10月	11	3,015	2,903	
		21	2,790		
	11月	11	1,010	747	
		21	483		
	12月	11	268	239	
		21	210		
	1957年	1月	11	161	151
			21	140	
2月		11	97	89	
		21	81		
3月		11	52	52	
		21	52		
4月		11	52	53	
		21	55		
5月		11	55	70	
		21	85		
6月		11	311	307	
		21	302		
7月	11	232	307		
	21	383			

* 採水が毎月15日に行われたので、この値が水質分析値に対応するものである。

この流量と Cl 及び HCO₃ を対応させたのが図12である。これには Cl 量と流量 f について

$$(Cl) \times f = 1000$$

$$(Cl) \times f = 4000$$

の曲線を併記した。HCO₃ についても同様に、

$$(HCO_3) \times f = 7000$$

$$(HCO_3) \times f = 35000$$

の曲線を併記した。

一般に日本の河川では、流量が大ききとき上の曲線の示す値より大きくなる。タイの河川でも、HCO₃ については日本の河川と同じ型である。これは既に述べた様に表面流出にも HCO₃

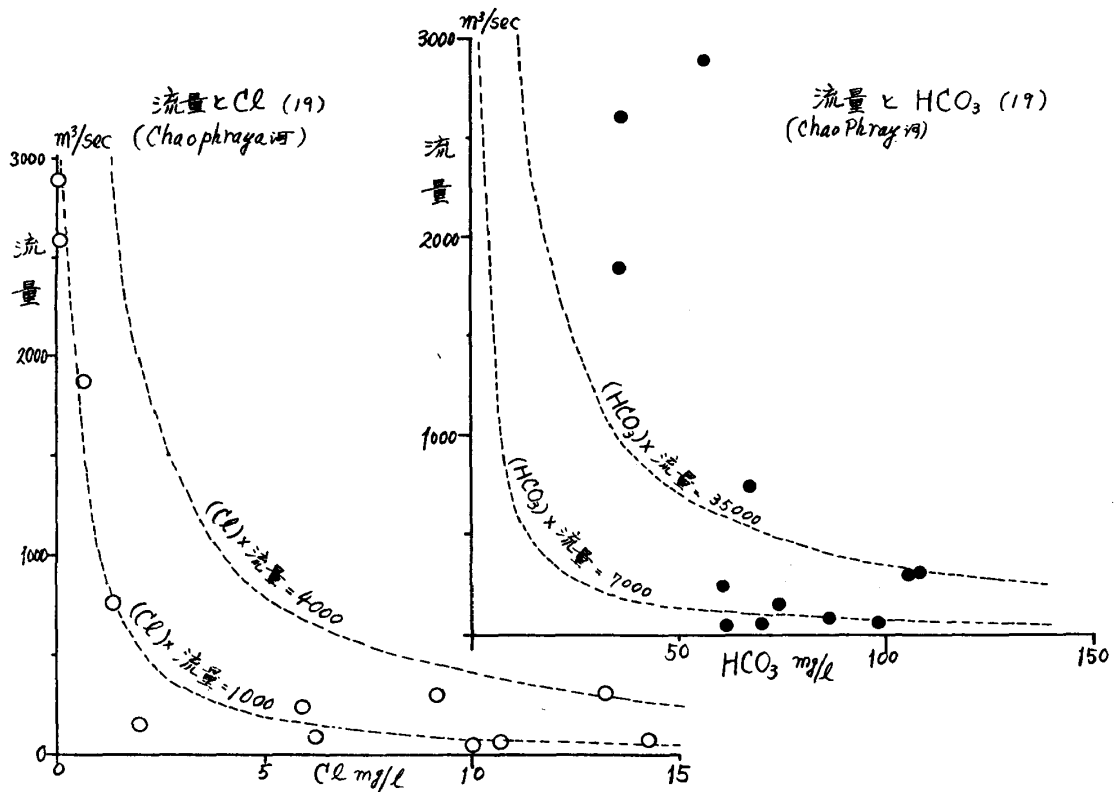


図 12 チャオプラヤ (No.19) に於ける流量と Cl, HCO₃ の対応

が溶けていることを示す。一方 Cl については、流量大なるときは上式で示すよりも小さい値をとる。これは日本の河川と異なる点であって、Cl は地下水に由来するものとみたら、タイでは増水時には地下水流出は少ないと云わねばならない。

低水時の河川水は地下水によって補給されている。このときは河岸に於ては河水位と地下水位はほぼ一致しているとみられる。増水時になると地下水位も上昇するが、これは河水位の上昇に因るものであって、地下水は河水より補給されていることになる。この様な時には、河川への地下水流出はなく、河川では $Cl \div 0$ となる。以上の関係がタイの河川についてあてはまるものと思われる。

しかるに日本の河川の水質はこの様な変化を示さない。例えば北上川²⁾では増水時にも Cl はあって地下水流出を認めねばならない。この事は河川に流入する地下水は、図13に模式的に示した如く、不圧地下水のみならず被圧地下水もあって、この

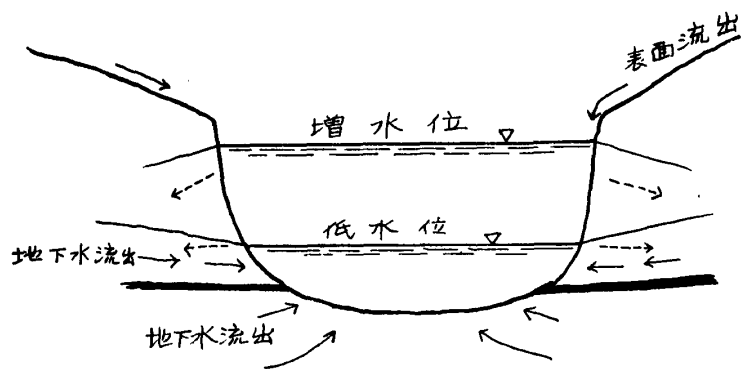


図 13 模式的にみた河水と地下水の関係

被圧地下水は河川の増水と同時に増圧して、増水時にも地下水流出として河川に入るものとみななければならない。

本文の起稿にあたっては、総理府統計局統計相談所より多量の資料の提供を受けた。記して厚意を謝するものである。

文 献

- (1) 小林純；農業研究，Vol. 46, No.2, P.63, 1958
- (2) 海外鉱業会；拓務省編馬來半島地質図
- (3) Thai Royal Department of Mines; Reconnaissance Geol. Map of Thailand, 1953
- (4) K.W.H. Leeflang; Tellus. Vol. 4, p. 280, 1938
- (5) 小穴進也博士の談話による。
- (6) Thailand Central Statistical Office; Statistical Year Book, 1959
- (7) 瀬野錦蔵，後藤達夫；陸水学雑誌，Vol. 23, No. 2, P. 35, 1962