琉球大学学術リポジトリ

沖縄本島北部河川水の化学的研究及び流出量

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学理工学部 公開日: 2012-04-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 渡久山, 章, 下地, 寛, Tokuyama, Akira, Shimozi, Hiroshi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/24079

Table 2 Average value of concentration, quantity which may be supplied from the land and the sea

Chemical species	Cl^- 〔ppm〕	SO_4^{2-} 〔ppm〕	Alkalinity 〔m-eq./l〕	Na^+ 〔ppm〕	K^+ 〔ppm〕	Ca^{2+} 〔ppm〕	Mg^{2+} 〔ppm〕	SiO_2 〔ppm〕
Average concentration	26	7.5	0.61	18	1.2	8.3	3.8	18
Quantity which may be supplied from the land	0	3.8 〔50%〕	0.61 〔100%〕	3.5 〔20%〕	0.65 〔54%〕	7.8 〔94%〕	2.1 〔54%〕	18 〔100%〕
Quantity which may be supplied from the sea	26	3.7	0	14.5	0.55	0.5	1.7	0

3－5 沖縄本島における陸地からの溶出量と人間活動によって動かされる物質量の比較

ここで求めた陸地からの溶出量（71mg/ℓ）を用いて沖縄本島の名護以北（非石灰岩地域で本部半島を除く）で1年間にどれだけ量の岩石や土壌が溶出されるかという計算を試みてみた。平均降雨量2200mmをとり名護以北の面積を沖縄本島の3分の1とすると1年間にこの地域に降る雨の量は9.2×10^8トンになる。この水全てに陸地からの溶出量が71mg／ℓあるとすると1年間に溶出される陸地の量は64000トンになる。沖縄本島における非石灰岩地域は総面積の80%くらいを占める。上での計算をこの面積に広げると沖縄本島の非石灰岩地域から溶出される量は15万5千トンになる。ただしここで用いた溶出量の値（71mg/ℓ）は降雨によって河川の流出量が変ると変る値である。どれくらい変るかは現在研究中で未だはっきりしない。
ここで用いるべき値として71mg/ℓの半分をとると溶出される陸地の量は7万8千トンくらいになる。

石灰岩地域から溶出される量を見積ってみる。石灰岩地域の湧水には海水以外からきたものの量はおよそ400mg/ℓである。(渡久山，1972；兼島，1965)。石灰岩地域は全島の20%だから年間の降雨総量は6億トンである。この中石灰岩を溶かすのに25%が用いられると仮定すると石灰岩地域から溶出される量は6万トンになる。石灰岩地域においては降雨に伴なう化学組成の変動幅は小さい（山田，1978)。降水量の中もっと多くの量が石灰岩を溶かすのに使われているとして多く見積ると20万トンくらいであろう。非石灰岩地域と石灰岩地域をあわせて沖縄本島で1年間に溶出される最大量を見積もると36万トンくらいになる。

自然物質を動かすのはこのような河川水や地下水による溶出があり，もう1つは人間活動に伴なうものがある。1977年の1月～12月までの1年間に沖縄本島で採掘された石灰岩の量は北部で377万トン，中南部をあわせると550万トンである。人間活動によって動かされている物質量がとても多いことがわかる。

3－6 化学種存在量の地域による違い

前に述べたようにCl^-の全てとNa^+の大部分が海から供給されているのであればこれらの存在量は海岸からの距離と関係があるのではないかと思える。図10はCl^-についてこの関係を見たものである。Cl^-は東，西海岸から1kmくらい離れた所では30ppm，2kmくらい離れた所では25ppm，3kmくらい離れた所では20ppmとなり，明らかに海岸からの距離につれて減少していく。沖縄本

島で海からの影響の最も少ない河川は辺野喜，普久，奥間，比地，安波，新川，福地川の上流で伊湯岳，与那覇岳，照首山，西銘岳と沖縄の最高峰地域の水ということになる。

次にその大部分が岩石から溶出してきて硬度の主成分であるCa^{2+}についてみよう。図11に示すようにCl^{-}濃度の最も低かった照首山，西銘岳に源流がある河川水のCa^{2+}濃度が最も低い。Ca^{2+}濃度の高い地域としては饒波川を中心とするその周辺である。饒波川流域に石灰岩があるのは確実である。あと有津，慶佐次川辺りがやや高くて残りの大部分の河川は5～10ppmの間にある。沖縄本島で最も軟水で海水の影響も少ない河川水は与那，辺野喜，ハレー，普久川の上流である。

その全部が岩石から溶出してきたと思えるSiO_2には地域性があるだろうか。図9と図12に示すようにスンバ，辺野喜，普久，安波，新川，有津，汀間川などが20ppm以上で濃度が高くあとの河川水はほぼ12～18ppmの範囲にある。

3－7　岩石や土壌などから溶出されるときの化学種間の関係

北部河川水の溶存物質総量の60％くらいは岩石，土壌などから溶出してくると思われる。溶存化学種が岩石や土壌から溶出されるとき各化学種間には一定の関係があるのだろうか。岩石や土壌から化学種が溶出されるときは溶出される岩石がどんな鉱物でできているか，同じ鉱物でもそれの物理的化学的状態のちがい，接触する水の物理的化学的性質のちがいによって違った状態が考えられる。

(イ)　全試料について一定の関係が見られる例（$Ca^{2+}+Mg^{2+}$とアルカリ度の関係）

Ca^{2+}, Mg^{2+}, アルカリ度について海から入ってきたと思える量を全量から引いて$Ca^{2+}+Mg^{2+}$に対してアルカリ度をプロットすると図13を得る。

これから海以外からきたと思える$Ca^{2+}+Mg^{2+}$はアルカリ度と正比例の関係にあることがわかりCO_2による岩石の溶出があることを示している。当量線よりは0.05meq・/ℓだけアルカリ度が高い。

(ロ)　同一河川でなら二種の化学種が正比例関係になる例

岩石や土壌から溶出してきたと思えるCa^{2+}とSO_4^{2-}を算出しプロットすると図14を得る。全ての試料について$CaSO_4$ lineよりはCa^{2+}が過剰にある。全試料についてみるとCa^{2+}とSO_4^{2-}の間にははっきりした関係はないように思えるが羽地大川だけ，源河川だけと同一河川で比べるとこれら両河川についてCa^{2+}とSO_4^{2-}は正比例の関係にありこれらの河川においてはCa^{2+}，アルカリ度，SO_4^{2-}ともに同じような挙動をとっているのではないかと推定される。図14から考えると羽地大川ではCa^{2+}：SO_4^{2-}は重量比で1：1の関係にあり源河川では1：0.66，SO_4^{2-}のもっと低い濃度の所で東水系にそった楚洲～安田にかけての河川と大保，大エヌ，大兼久というCa^{2+}濃度の高い地域では1：0.25の関係にあることがわかる。

全Ca^{2+}と全溶存SiO_2の関係を図15に示した。

Ca^{2+}は94％が岩石や土壌からの溶出によるものであり全Ca^{2+}をとっても岩石や土壌からの溶出によるものとしての議論ができる。羽地大川，源河川の試料はCa^{2+}もSiO_2も低濃度のグループに属しこれらの河川についてはCa^{2+}とSiO_2は比例関係にあることが見られる。図15を見るとCa^{2+}とSiO_2によって北部の河川は三つのパターンにも分けることができる。1つは羽地大川源河川のようにCa^{2+}もSiO_2も低濃度の河川水でここには東水係にそった奥川～安田川までの河川も入る。もう1つは饒波川を中心とするCa^{2+}含量が高くSiO_2濃度の低い河川であり三つ目はスンバ，辺野喜，普久，安波，新川，汀間，有津川などに見られるようにCa^{2+}は少ないがSiO_2が多い河川水である。

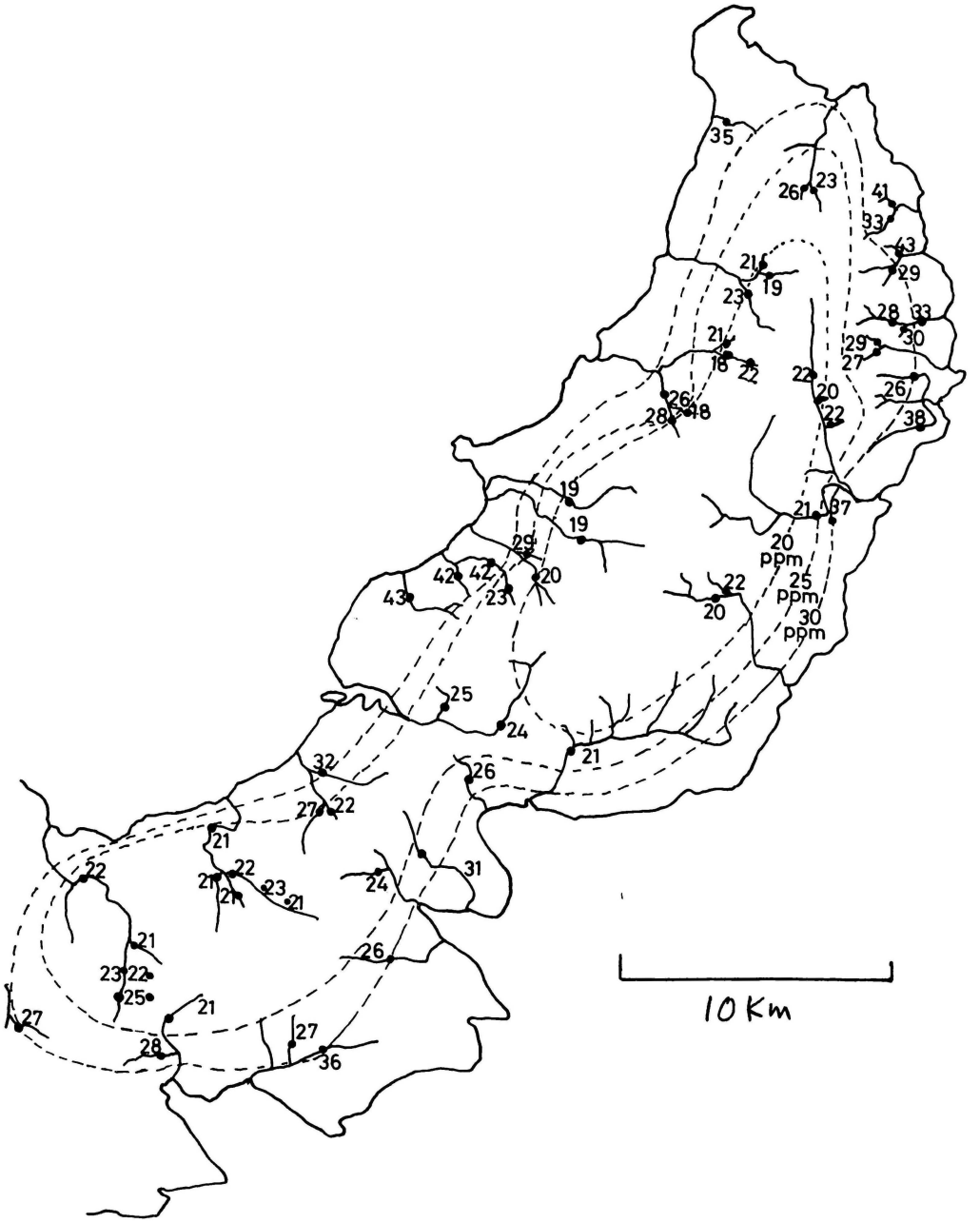

Fig. 10 Distribution of Cl^- concentration (mg/ℓ)

Fig. 11 Distribution of Ca^{2+} concentration (mg/ℓ)

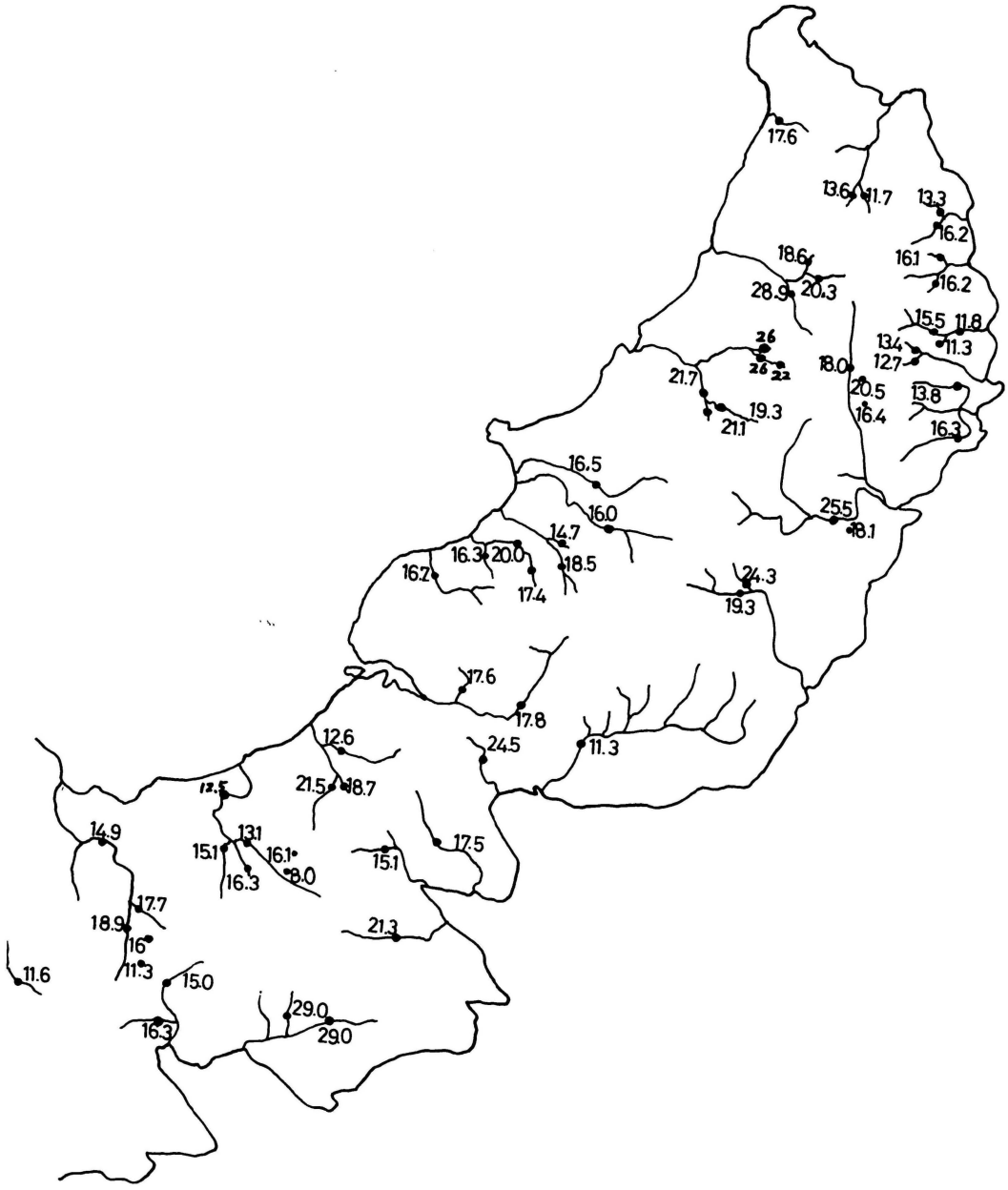

Fig. 12 Distribution of SiO_2 concentration (mg/ℓ)

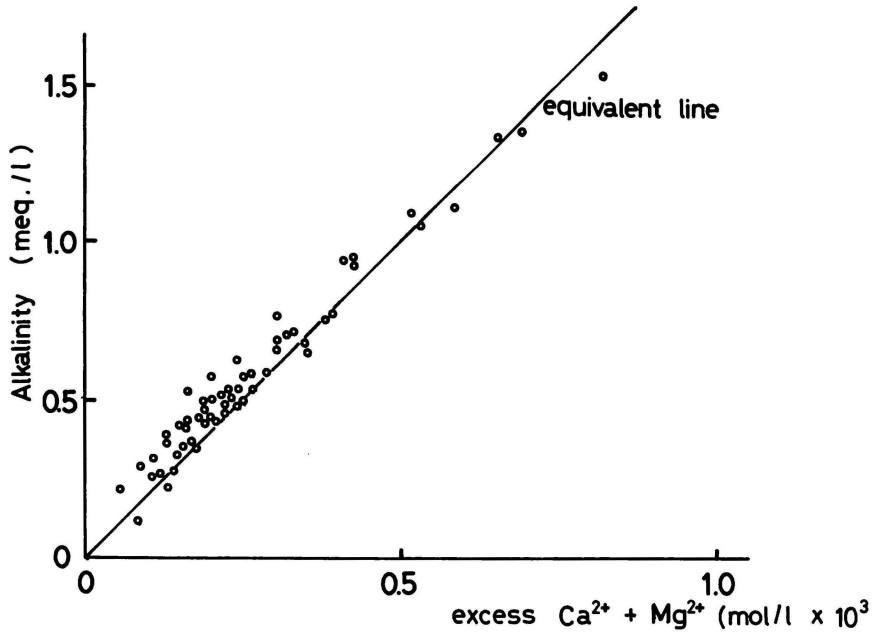

Fig. 13 The relationship between $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ Which may be supplied from the land and alkalinity

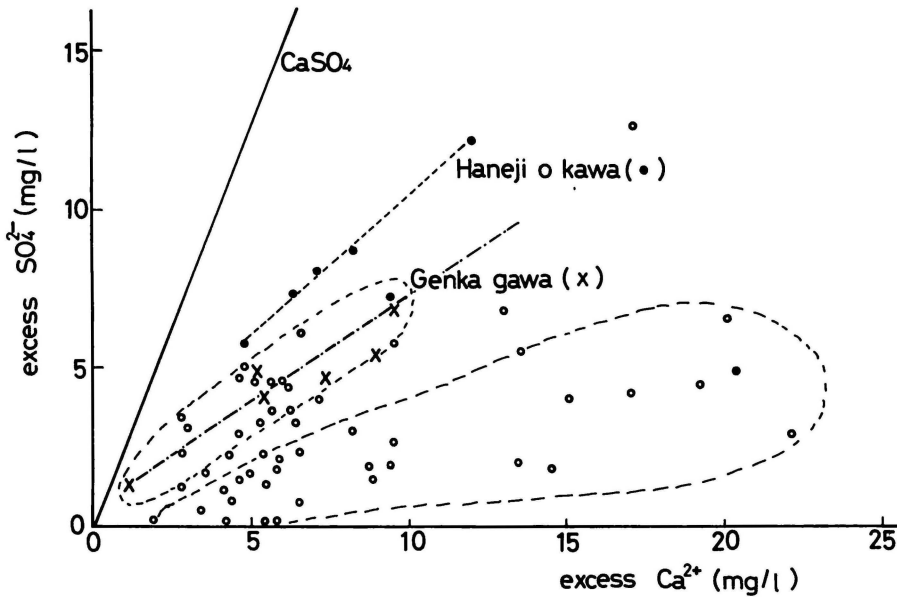

Fig. 14 The relationship between Ca^{2+} and SO_4^{2-} which may be supplied from the land

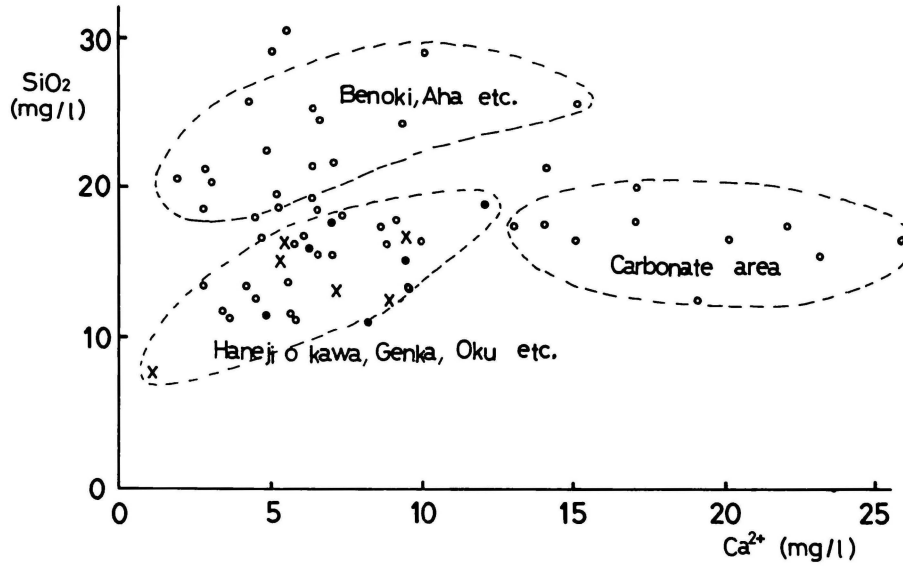

Fig. 15 The relationship between Ca^{2+} and SiO_2 which may be supplied from the land

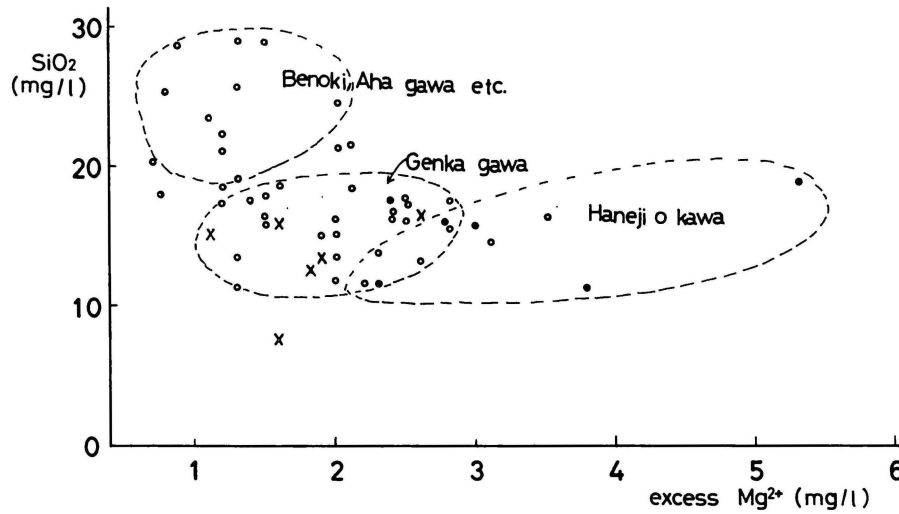

Fig. 16 The relationship between Mg^{2+} and SiO_2 which may be supplied from the land

(ハ) 同一河川でも関係がはっきりしない例

Mg^{2+}とSiO_2の関係を図16に示す。羽地大川でも源河川でもMg^{2+}とSiO_2の間にはっきりした関係はみられない。Mg^{2+}とSiO_2によって分けられるグループはCa^{2+}とSiO_2によって分けられるグループとは違い二つの河川を比べるとMg^{2+}, Ca^{2+}, SiO_2は岩石からの溶出の際には共に行動しているのではないといえる。

(ニ) 岩石や土壌から溶出してきたと思えるCa^{2+}とMg^{2+}の関係

Ca^{2+}とMg^{2+}の関係を図17に示した。全体的に見るとCa^{2+}とMg^{2+}の間には一定した関係はない。Ca^{2+}濃度の高い河川水でも必らずしも石灰岩のみの溶解によるものではなくCa^{2+}を含んだ珪酸塩岩石でもCa^{2+}の溶けてくる量がいろいろであるかもしれない。

羽地大川と外掘田川については1本の直線にのっており Ca^{2+}：Mg^{2+}が重量比で2：1の線である。

これら溶出の際の裏ずけとなる溶出実験を現在行なっている。

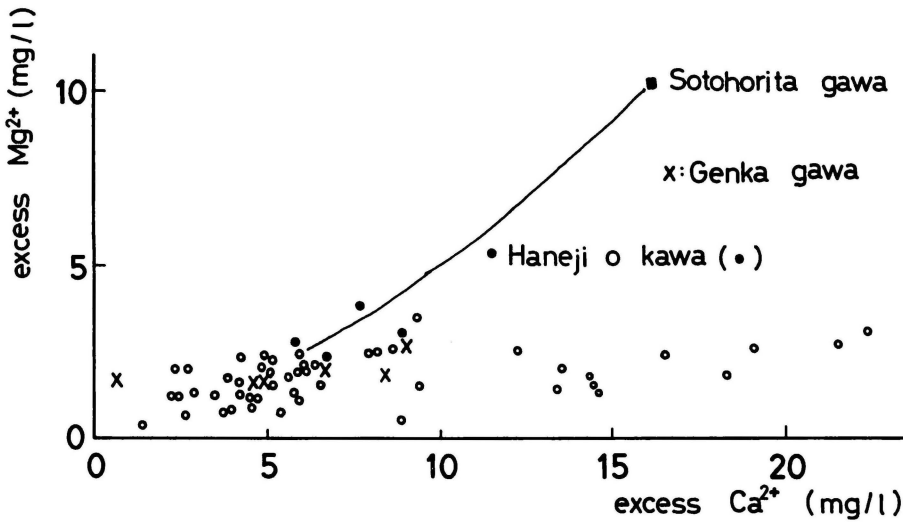

Fig. 17 The relationships between Ca^{2+} and Mg^{2+} which may be supplied from the land

3－8 河出の流出量

測定方法：できるだけ川幅と深さが一定で流速も河川中央や両側で各々一定している場所を選び枯れた枝を浮きにしてその浮きが，前もって測られた長さ（6～12 m）を通過する時間を川の中央や両側で何回かずつ測り川幅と深さを測って単位時間当りの流量を求めた。

結果：1日当りの流出量に直して図18に示した。降雨量が少ない時期の流出量である。この図からすると沖縄本島で流出量の多い順に河川をならべると福地川＞安波川，普久川，辺野喜川（ハレー川を含む）＞与那川（スンバ川を含む），源河川＞比地川，奥間川，大保川，新川川＞羽地大川＞平南川，田嘉里川，安田川，慶佐次川，有銘川，有津川，汀間川，大浦川となると思える。

西銘岳，照首山，与那覇岳，伊湯岳に源をもつ河川が沖縄本島の河川の中では化学組成の上からももっとも良い水で流量も最も多い。これは我々にとっては幸いなことであろう。同時にこの

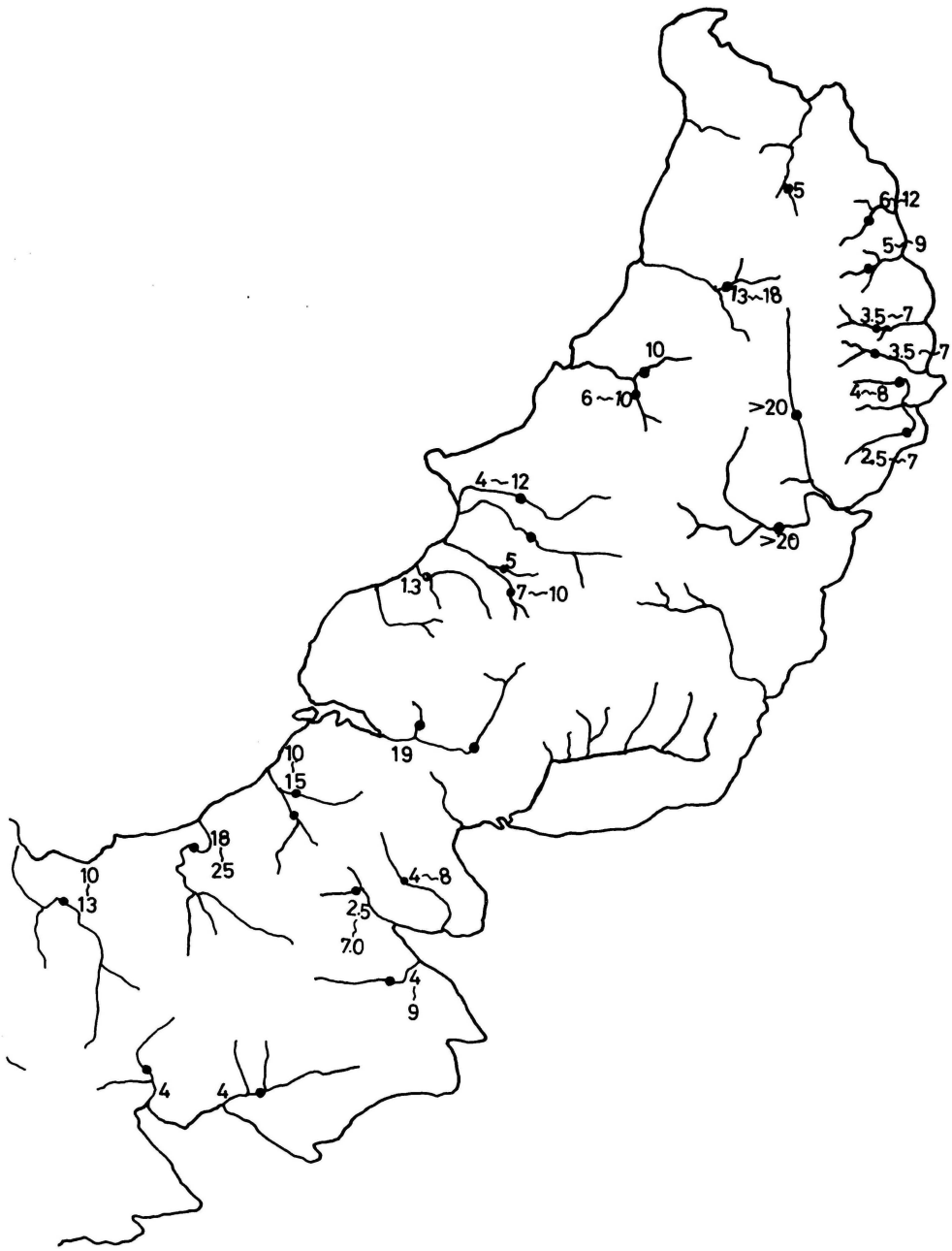

Fig. 18 The Flux of River Water (ton/day$\times 10^{-3}$)

地域の自然を壊してしまうことは許されないことでもある。

さて断水の問題であるが流出量の多い河川にはすでにダムができているか建設中である建設中のダムが完成しても未だ沖縄の将来における水使用量から推すと断水解消は難かしい。

流出量を測定してみるとなおのこと今後断水を解消していくにはもっと真剣に考えなければならないと思える。

4. まとめ

(1) 北部河川水は平常水位の場合溶存化学種の総量は120～130ppmである。

(2) この中40%は海塩粒子などとして海水から混入してきたもので，残りの60%は岩石や土壌からの溶出によるものと思える。

(3) 河川に溶存する成分の中でCa^{2+}，アルカリ度，SiO_2はこれらのほとんど全てが，Mg^{2+}，K^+ SO_4^{2-}は50%が，Na^+は20%が岩石や土壌の溶解に起因すると思える。

(4) 沖縄本島において1年当り溶出される岩石や土壌の量は最大に見積もって36万トン以下であろう。

(5) Cl^-は海岸からの距離と共に減少していく。

(6) 岩石や土壌からの溶出の際各化学種は各々によっていろいろな姿をとる。

(イ) $Ca^{2+}+Mg^{2+}$とアルカリ度は全ての試料について直線関係にあり同じ挙動をとると思える。

(ロ) Ca^{2+}とSO_4^{2-}にみられるように同一河川でなら直線関係にあるが全体的にははっきりしたパターンを示さないものもある。

(ハ) Ca^{2+}とMg^{2+}のようにはっきりした関係がみられないのもある。

(ニ) SiO_2は他のどの化学種とも違う独自の挙動をしているように思える。

(7) 沖縄本島では西銘岳，照喜山，与那覇岳，伊湯岳に源をもつ河川水が化学組成の上からは最も良質であるし流量も最も多い。沖縄ではこれらの地域を含めた自然を壊す行為をしてはならない。

謝　辞

原子吸光装置の使用を心よく許して下さった兼島先生と試料採集，分析，清書に協力して下さった島袋浩明，比嘉栄三郎，上原博紀の三君にもお礼を申し上げる。

参考文献

1）C.C.Cameron, D.E.Flint and R.A.Saplis : Military Geology of OKINAWA－JIMA, RYŪKYŪ-RETTO, Volume II Water resources, p.82 (1958)

2）兼島清：沖縄の河川及び地下水の水質，工業用水 No.81，30－37 (1965)

3）北野康，中村誠佑：山崩れと水質，施工技術 第6巻，17－24 (1973).

4）小西泰次郎，木野義人，野間泰二，岸和男，芽山芳夫，池田喜代治：沖縄の水資源—4. 沖縄本島北部地区の地下水—，地質ニュース 206，1－19 (1971).

5）西島信昇，諸喜田茂充，川那部浩哉：琉球列島の河川の概況，琉球列島の自然とその保護に関する基礎的研究Ⅰ 113－143 (1974).

6）渡久山章，兼島清：天然水における炭酸カルシウムの飽和度，琉球大学理工学部紀要(理学篇)，No.14，46－60（1971）.
7）渡久山章：堆積環境における元素の移動（3報）石灰岩地方の水（1），琉球大学理工学部紀要（理学篇），No.15，81－98　（1972）.
8）脇坂宣尚，森江堯子，武波久恵，中橋順子：琉球の地下水と地表水の水質（2），宇部短期大学学報，4，135－141　（1967）.
9）山田保：石灰岩地帯とジャーガル地帯の地下水の地球化学的研究，琉球大学理工学部化学科卒業論文　（1978）