

琉球大学学術リポジトリ

[原著] 沖縄県の非石灰岩地域から導水される飲料水の水質構造

メタデータ	言語: 出版者: 琉球医学会 公開日: 2010-07-02 キーワード (Ja): キーワード (En): drinking water quality, environmental health study 作成者: 遠山, 英一, Tohyama, Enchi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002015957

沖縄県の非石灰岩地域から導水される飲料水の水質構造

遠山 英一

琉球大学医学部医学科保健医学講座

(1995年9月18日受付、1996年3月25日受理)

Factors affecting the quality of drinking water from non-calcareous source in Okinawa

Eiichi Tohyama

Department of Preventive Medicine, Faculty of Medicine,
University of the Ryukyus

ABSTRACT

In order to clarify the quality of drinking water from environmental health viewpoint, the mineral and salt contents of drinking water from non-calcareous water sources in Okinawa prefecture were determined. In this study, the following 5 sources of the minerals and salts in the drinking water were investigated: 1) rainwater, 2) marine salts carried by the wind, 3) rock and soil, 4) human activity and 5) treatment chemicals. Water samples from these sources were analysed. The main findings were as follows: A) Large quantities of minerals and salts from marine, rock and soil sources were found in Okinawan drinking water. B) Amounts of Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} and HCO_3^- in the drinking water collected from non-calcareous sources were increased by the water purification method. C) The Na^+ and Cl^- contents of the non-calcareous water sources were influenced by human activities. However, these influences were very small in comparison with calcareous water sources. *Ryukyu Med. J.*, 16(1)37~41, 1996

Key words: drinking water quality, environmental health study

はじめに

水は人体にとって基本的な要素である。飲料水は、われわれの健康や衛生と深く関わっている。飲料水の水質と人間の健康との関連については、Kobayashi¹⁾が河川水中の無機成分濃度と脳血管障害死亡率の関係を報告して以来、多くの調査や研究が行われ、飲料水の化学成分と各種疾病との関連が報告されている²⁻¹⁰⁾。筆者も沖縄県下の20市町村における飲料水中の15成分濃度(1968~1980)と各種疾病死亡率(1973~1985)との関連について検討し、女性の虚血性心疾患と陰イオン界面活性剤、子宮がんとフッ素、男女両性の肝臓がんと硝酸性および亜硝酸性窒素との関係を見出した¹¹⁾。

水を取り巻く環境を改善することによって、われわれの健康を増進し、あるいは水質が要因となっている疾病の予防対策を講ずることもできよう。飲料水と人間の健康との関わりを理解し、飲料水の水質成分と各種疾病の関連を環境医学的な観点から解明するため、今回は飲料水の水質構造に及ぼす環境の影響を検討した。沖縄県の飲料水は、溶存物質量の極めて大きい石灰岩質の水と、溶存物質量の比較的小さい非石灰岩質の水に大別される¹²⁻¹⁵⁾。まず、非石灰岩(主にケイ酸岩)地域から導水される飲料水の水質が、いかなる因子によ

って規定され、形成されて行くかを調べた。飲料水水質に及ぼす主因子としては、次のようなことが考えられる。1. 雨水および自然降下物からの寄与、2. 風によって運ばれる塩(風送塩)類の溶解、3. 岩石や土壌からの溶出、4. 人間の生活活動による影響、5. 浄水操作による薬剤添加。本研究では、これら五つの規定因子の飲料水水質への寄与量を推算した。なお、今回の研究は飲料水水質が健康に及ぼす影響を解明する一連の研究の一部をなすもので、サンプリングを行った1975年は前回検討した水質の測定期間(1968~1980)¹¹⁾の丁度中間年である。その論文¹¹⁾では1975年頃の飲料水水質と健康の問題を報告したが、その当時の水質が何によって規定されていたかを明らかにしようとしたものである。

材料と方法

1. 試料採取

(1) 雨水および自然降下物の試料採取は、福地ダム流域(Fig.1)で、1974年11月、1975年1、2、4、5、7、8、10月に行った。口径15.4cm、高さ50.0cmの塩化ビニール製容器を、高さ1.2mの支持台上に載せて1ヶ月間放置し、その間の雨水と自然降下物を採取した。

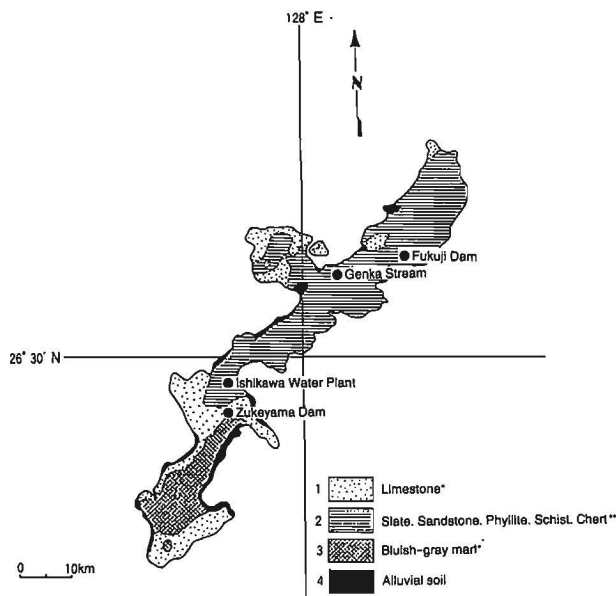


Fig.1 Geological map of Okinawa Island and sampling points.

*: Calcareous area (1+3)

** : Non-calcareous area (2)

成分濃度は降雨量(名護測候所)と蒸発率28%¹⁶⁾を考慮に入れて、次のように算出した。

$$\text{成分濃度 (mg/l)} = \frac{f}{P(1-r/100)} \times 10^4$$

ここで

f : 成分降下量 (mg/cm²)

P : 月降雨量 (mm)

r : 平均蒸発率 (%)

(2) 風によって運ばれる塩(風送塩)類の試料採取は、1975年1、4、7、10月に福地ダムと源河川流域(Fig.1)の各2ヶ所で行った。木の葉や空中につるした塩化ビニールパイプを蒸留水で洗い、その洗浄水を試料として分析に供した。各分量のCl⁻量に対する比を求め、それに風送塩類中の塩化物イオン量15.9mg/l^{15,16)}をかけて算出した。(1)に述べた自然降下物と区別するために、試料採取にはできるだけ横風を受けるような木の葉を採用し、塩化ビニール管は縦につるした。

(3) 岩石・土壌の試料採取は、風送塩類の試料採取と同時期に同場所で行った。試料を粉状にして、100メッシュ(149μm)の篩にかけた。通過した粉末20gを蒸留水1ℓに混合し、その中へ炭酸ガスを導き、マグネチック・スターラー(50rpm)によって攪拌しながら、溶存SiO₂が13.9mg/l(原水中のSiO₂の平均濃度)に接近するまで溶出した。その後、炭酸ガスの吹き込みを止め、スターラーの回転数を落としてpHの上昇を待った。河川水の平均pH7.6を目安として、HCO₃⁻が約47.5mg/lになったところで溶出液の上澄水をメンブラン・フィルター(0.45μm)でろ過し、速やかに分析に供した。

(4) 原水のサンプリングは、1975年1、4、7、10月に非石灰岩地域からの河川水を処理している石川浄水場(Fig.1)の導水管と着水井で行い、ただちに分析に供した。

(5) 浄水については、原水の試料採取と同時期に石川浄

水場の配水地と給水栓から試料採取を行い、ただちに分析した。

2. 分析

分析項目は飲料水の主成分であるカルシウムイオン(Ca²⁺)、マグネシウムイオン(Mg²⁺)、ナトリウムイオン(Na⁺)、カリウムイオン(K⁺)、塩化物イオン(Cl⁻)、硫酸イオン(SO₄²⁻)、重炭酸イオン(HCO₃⁻)、シリカ(SiO₂)と、その他陰イオン界面活性剤(ABS)、フッ素イオン(F⁻)、硝酸性および亜硝酸性窒素(NO₃NO₂-N)で、分析方法は、Standard Methods for the Examination of Water and Waste waterに準拠した^{14,15)}。

各成分の分析方法については、他で述べたとおりである^{14~19)}。

結果

1. 雨水および自然降下物からの寄与、風によって運搬される塩類の溶解、岩石土壌からの溶出、原水および浄水の各成分分析結果をまとめると、Table 1のとおりであった。人間の生活活動による影響の寄与量は、原水成分の平均値から、雨水および自然降下物からの寄与、風によって運搬される塩類の溶解、岩石土壌からの溶出の3平均値の含量を差し引き、また浄水操作による薬剤添加の寄与量は、浄水成分の平均値から、原水成分の平均値を差し引いて求め、Table 2のようになった。(Table 1)で示されるように、雨水および自然降下物に由来する成分ではCl⁻、SO₄²⁻、Na⁺、Ca²⁺、風送塩類に由来する成分ではCl⁻、Na⁺、SO₄²⁻、岩石・土壌に由来する成分ではHCO₃⁻、SiO₂、Ca²⁺、Na⁺の量が高く、原水および浄水の成分ではHCO₃⁻、Cl⁻、Na⁺、SiO₂、Ca²⁺、SO₄²⁻の量がともに高い。また、(Table 2)により、人間の生活活動による寄与成分ではNa⁺とCl⁻の量が比較的高く、浄水処理による寄与成分ではCa²⁺、Na⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻の量が高い。

2. Fig.1に示す非石灰岩地域と石灰岩地域(泥灰岩を含む)における人間の生活活動による影響¹⁶⁾を比較すると、Table 3のようになった。

ここで差と比の双方とも石灰岩地域のMg²⁺、Na⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、ABS、NO₃NO₂-Nがかなり高い。

考察

雨は、その生成過程からみると、天然における蒸留水とも言うべきものであるが、エアロゾルの凝結核に始まり、雨滴の降下や地上流動を通して、二酸化炭素のようなガスを溶かしているほか、いくつかの塩類をふくんでおり^{16,17)}決して純粋な水とは言えない。また、空气中を浮遊している微粒子が衝突を繰り返しながら大きくなって、降水によらず自然に落下してくる^{18,19)}。それを自然降下物、あるいはドライフォールアウトとして雨水に含めた。

風送塩類によるCl⁻量は、雨水および自然降下物によるCl⁻量の3.88倍となっており、日本本土におけるその割合が約2倍と報告¹⁷⁾されていることからすると、沖縄諸島は面積が小さいだけに直接潮風の強い影響下に在るといえよう。

岩石・土壌に関係する陸水が流域の地質特性をよく反映することは、多くの研究者^{21,23)}によって報告されているが、雨水が地表を流下し、または地下へ浸透する際に、そこにある岩石や土壌が溶解する場合は、炭酸ガスが大きな役割を果たしているものと思われる^{16,18)}。岩石・土壌の溶出実験におい

Table 1 Mean concentrations of components of drinking water from 5 different sources

	Rain water (n=8)	Marine Salts (n=8)	Rock and Soil (n=8)	Raw water (n=8)	Treated water (n=8)
Ca ²⁺ (mg/l)	1.03±0.41 (0.35~1.61)	2.33±1.08 (0.88~3.71)	7.76±0.75 (6.50~8.70)	10.98±2.47 (8.00~14.30)	14.33±0.79 (13.10~15.30)
Mg ²⁺ (mg/l)	0.44±0.19 (0.09~0.63)	1.27±0.41 (0.58~2.01)	1.99±0.67 (0.90~3.00)	3.86±0.74 (2.90~5.00)	3.99±0.44 (3.40~4.70)
Na ⁺ (mg/l)	2.69±1.10 (1.07~4.03)	9.37±1.74 (6.85~11.84)	3.48±0.39 (2.80~4.00)	16.28±1.82 (13.50~18.30)	18.52±1.95 (16.40~21.00)
K ⁺ (mg/l)	0.28±0.12 (0.09~0.45)	0.42±0.13 (0.26~0.60)	0.60±0.21 (0.40~1.00)	1.15±0.23 (0.80~1.50)	1.28±0.21 (0.90~1.50)
Cl ⁻ (mg/l)	4.08±1.67 (2.08~6.71)	15.89±4.80 (8.80~21.00)	0.00±0.00 (0.00~0.00)	21.10±3.07 (17.60~25.00)	23.61±2.19 (20.40~26.10)
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	2.79±1.18 (2.08~6.71)	6.71±2.00 (4.38~9.52)	1.33±0.37 (0.80~2.10)	10.93±1.97 (8.80~13.10)	12.38±1.95 (9.30~15.00)
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	0.03±0.01 (1.42~4.30)	0.03±0.01 (0.01~0.05)	47.16±4.27 (39.70~52.40)	47.51±2.33 (43.60~50.20)	49.81±2.68 (46.90~52.60)
SiO ₂ (mg/l)	0.02±0.01 (0.01~0.04)	0.02±0.01 (0.01~0.03)	14.00±1.33 (12.60~16.20)	13.90±0.77 (12.90~15.00)	13.66±1.03 (12.70~15.60)
ABS(mg/l)	0.00±0.00 (0.00~0.00)	0.00±0.00 (0.00~0.00)	0.00±0.00 (0.00~0.00)	0.01±0.01 (0.00~0.02)	0.01±0.01 (0.00~0.02)
F ⁻ (mg/l)	0.00±0.00 (0.00~0.00)	0.00±0.00 (0.00~0.00)	0.02±0.01 (0.00~0.03)	0.02±0.01 (0.01~0.03)	0.02±0.01 (0.01~0.03)
NO ₃ NO ₂ -N(mg/l)	0.00±0.00 (0.00~0.00)	0.00±0.00 (0.00~0.00)	0.03±0.01 (0.01~0.05)	0.05±0.01 (0.03~0.07)	0.05±0.02 (0.03~0.08)

mean±SD
(range)

Table 2 Estimates of influence of human activity and chemical treatment of drinking water (mg/l)

Component	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	ABS	F ⁻	NO ₃ NO ₂ -N
Human activity	-0.1	0.2	0.7	-0.1	1.1	0.1	0.3	-0.1	0.01	0.00	0.02
Chemical treatment	3.3	0.1	2.2	0.1	2.5	1.5	2.3	-0.2	0.00	0.00	0.00

Table 3 Comparison of influences due to human activities for non-calcareous area and calcareous area

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	ABS	F ⁻	NO ₃ NO ₂ -N
A. Calcareous area*	-1.9	6.7	23.0	1.7	33.3	36.3	-5.0	0.5	0.31	0.00	0.99 (mg/l)
B. Non-calcareous area	-0.1	0.2	0.7	-0.1	1.1	0.1	0.3	-0.1	0.01	0.00	0.02 (mg/l)
A - B	1.8	6.5	22.3	1.8	32.2	36.2	5.2	0.6	0.30	0.00	0.97 (mg/l)
A / B	19.0	33.5	32.9	-17.0	30.3	363	-16.7	-5.0	31.0	-	49.5

*: Data from previous studies¹⁶⁾

て、蒸留水だけを用いるよりも、炭酸ガスを吹き込みながら溶解した方が、時間的にも成分的にも自然状態における陸水の化学組成に接近させることができる。

人間の生活活動による河川水への影響は、種々の因子が絡み合って、その正確な計算は非常に困難である。人間の生活

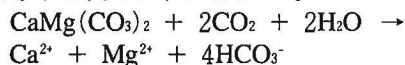
活動によって寄与されるNa⁺とCl⁻の量はほぼ等しい当量であり、生活排水や産業活動による食塩汚染であろうと思われる。

浄水操作による薬剤添加の寄与成分のうち、Ca²⁺とNa⁺については非石灰岩地域における河川水のアルカリ度が低く、フロック形成を促進するためにはアルカリ度を高める必要が

あり¹³⁾、通常水処理において消石灰Ca(OH)₂、苛性ソーダNaOH等が使用されるが、それらの薬剤に起因するものであろう。Cl⁻は殺菌、有機物酸化のために注入される塩素ガスCl₂、またSO₄⁻は土微粒子の凝集剤として用いられる硫酸アルミニウムAl₂(SO₄)₃から生じたものと思われる。HCO₃⁻については、未だ実証されていないが、浄水場の攪拌池で注入薬剤と水を混合する際に空気が余分に水に溶解あるいは有機物の分解等によってCO₂分圧が高くなり、それと水中にある土微粒子の炭酸塩岩(CaCO₃, MgCO₃等)との反応により生じた炭酸水素イオンであろう。また、アルカリ度が上昇したために、CO₂+H₂O⇌H₂CO₃⇌H⁺+HCO₃⁻の平衡状態が右へ移行したとも考えられる。

浄水の水質を構成する各成分要素を比較してみると、Ca²⁺の最も大きな寄与は岩石土壌からの溶出成分で、次に浄水操作による薬剤の添加、風送塩類の溶解と続いている。Table 2, 3においてマイナスの記号が付されているのは、沈澱物となって水系から除かれることを意味するか、あるいは測定値の誤差を示すものであるのか不明である。

Mg²⁺については岩石土壌と風送塩類に由来するものが大きく、それら2要素で浄水水質の82.5%を占めている。造岩鉱物のドロマイトCaMg(CO₃)₂から溶出する化学反応式の1例を示すと次のようになる^{16, 19)}。



Na⁺は風送塩類に由来するものが最も高く、それは海洋及び陸上起源のものから構成されているが、沖縄諸島ではCl⁻とともに海洋起源の割合が大きい¹⁶⁻¹⁸⁾と考えられる。また、Na⁺は岩石鉱物Na_{0.62}Ca_{0.38}Al_{1.38}Si_{2.62}O₈(斜長石)からの溶出によるものと思われ、かなりの寄与を示している。

K⁺は岩石・土壌の溶解によるものが高く、それは造岩鉱物のKMg₃AlSi₁₀(OH)₂(黒雲母)やKAlSi₃O₈(正長石)からの溶出によるものであろう。

Cl⁻については風送塩類に由来するものが際立って高く、海洋からの食塩によるものであろう。雨水および自然降下物によってもたらされるものは少量であると考えられる。

雨水および風送塩類におけるSO₄⁻の濃縮をはじめ、SO₄⁻が河川水中へ導入される機構については、まだ未知の部分が多いが^{16, 18)}風送塩類によるものが最も高い。SO₄⁻はCl⁻, Na⁺について海水に豊富な成分であり、海洋起源のものが多いと思われる。

HCO₃⁻は浄水操作によって僅かに増加するものの、炭酸水素イオンの寄与量は、95.0%までが岩石・土壌に由来するものである。

浄水のシリカ成分は岩石・土壌に由来するもので、すべて陸上起源である。溶出実験で河川水中のSiO₂量を得るには、十分に風化した土壌を混ぜる必要がある。筆者の過去の実験で植生とSiO₂成分の関係が示された¹⁶⁻¹⁸⁾。

アルキルベンゼンスルホン酸(中性洗剤の主成分)は合成品で、人間の生活活動に由来している。

地球の地殻におけるフッ素の存在度は625ppm²¹⁾で、岩石・土壌からの溶出によってもたらされたものであろう。ちなみに、1946年から1972年まで沖縄が米国の施政権下にあった27年間、浄水方法もアメリカ式が用いられ、水道水のF濃度は約0.7mg/lを保つように処理されていた。

硝酸性および亜硝酸性窒素は、岩石・土壌の腐植土部分と人間または動物の活動に由来するものが大きいと思われる。

以上を要約すると、沖縄の飲料水水質に大きく寄与しているのは、海洋起源の風送塩類と陸上の岩石土壌からの溶出によるものである。

さらに、沖縄県における飲料水の水源は、大別して石灰岩地域と非石灰岩地域に所在するが、それら2地域における人間の生活活動による影響を比較すると、石灰岩地域でMg²⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄⁻, ABS, NO₃NO₂-Nの成分が、それぞれ33.5、32.9、30.3、363、31.0、49.5倍と非常に高い。つまり、沖縄島の非石灰岩地域を水源とする飲料水は、石灰岩地域のそれに比べて、人間の生活活動による影響が極めて小さい。石灰岩地域は人口密度が高く、種々の工場、畜舎、軍事施設等が散在し、飲料水水源はそれからの汚染物質を著しく被っていると考えられる。

この研究は、前回の論文¹¹⁾で1975年頃の飲料水水質と健康の問題を報告したが、その当時の水質が何によって規定されていたかを明らかにしようとしたものである。今回得られた知見は、現在の飲料水水質と健康について解析する場合、併せて敷衍されるであろう。

結 語

沖縄の飲料水水質には、海洋起源の風送塩類と陸上の岩石土壌からの溶出が大きく寄与している。また、石灰岩地域に比べ非石灰岩地域から導水された飲料水は、人間の生活活動による汚染の影響が極めて小さかった。

文 献

- 1) Kobayashi, J.: On geographical relationship between the chemical nature of river water and death rate from apoplexy. *Berichte D. Ohara Institute* 1: 12-21, 1957.
- 2) Biorck, G., Bostrom, H., and Windstrom, A.: On the relationship between water hardness and death rate in cardiovascular disease. *Acta Med. Scand.* 178: 239-252, 1965.
- 3) Flaten, T.P.: Chlorination of drinking water and cancer incidence in Norway. *International J. of Epidemiology* 21(1): 4-15, 1992.
- 4) Lindeman, R.D., and Assenzo, J.R.: Correlation between water hardness and cardiovascular deaths in Oklahoma counties. *Am. J. Public Health* 54: 1071-1077, 1964.
- 5) Masironi, R.: Trace elements and cardiovascular disease. *Bull. Wld. Hlth. Org.* 40: 305-312, 1969.
- 6) Nelson, R.L.: Dietary minerals and colon carcinogenesis. *Anticancer Research* 7: 257-270, 1987.
- 7) Neri, L.C., Hewitte, D., and Mandel, J.S.: Risk of sudden in soft water areas. *Am. J. Epidemiology* 94: 101-104, 1971.
- 8) Schroeder, H.A., and Kraemer, L.A.: Cardiovascular mortality, municipal water, and corrosion. *Arch. Environ. Health* 28: 303-311, 1974.
- 9) Sonneborn, M., and Mandelknew, J.: German studies in health effects of inorganic drinking water constituents. *Sci. Total Environment* 18: 47-60, 1981.
- 10) Su, D.: Drinking water and liver cancer. An epi-

- demiologic approach to etiology of this disease in China. *China Med. J.* 92: 748-758, 1979.
- 11) 遠山英一：沖縄県における飲料水水質とその死因別死亡率との関連. *民族衛生* 61(2): 69-82, 1995.
 - 12) 遠山英一, 等々力英美, 楠本昌子, 軍神宏美, D. Dominicus, 赤松隆：沖縄の飲料水による健康影響. *日本衛生学雑誌* 44(1): 362, 1989.
 - 13) 遠山英一, 有泉誠, 等々力英美, 新城正紀：沖縄県における飲料水水質の起源. *日本衛生学雑誌* 50(1): 256, 1995.
 - 14) 遠山英一：沖縄島の河川水質とその起源. *工業用水* 268(1): 13-27, 1981.
 - 15) Tohyama, E.: Limnological studies on Fukuji Reservoir at Higashi-son, Okinawa Island. *Japanese J. Limnology* 43(4): 246-253, 1982.
 - 16) 遠山英一：鳥尻地域河川水の地球化学的研究. *工業用水* 277(10): 7-14, 1981.
 - 17) 遠山英一：沖縄の水とその環境. 沖縄理化学研究所. 沖縄：90-211, 1985.
 - 18) 遠山英一：陸水の溶存化学種が指示する岩石風化量. *陸水学雑誌* 44(3): 173-183, 1983.
 - 19) Tohyama, E.: Particle size distribution, chemical composition and calculation of standard mineralogical composition of suspended sediment transported by a stream in Okinawa Island. *Japanese J. Limnology* 45(4): 253-259, 1984.
 - 20) 管原健：陸水の新しい化学的考察について. *用水と廃水* 6(4): 317-321, 1964.
 - 21) 半谷高久, 小倉紀雄：水質調査法 (天然における水の循環と水質に関連する現象). 丸善. 東京：13~53, 1985.
 - 22) 岩崎岩次：天然水. *工業用水便覧*. 日本工業用水協会編：P.89-142, 1973.
 - 23) Tokuyama, A., Kitano, Y., and Kaneshima, K.: Geochemical behavior of chemical species in the Processes of limestone formation. *Geochemical Journal* 6: 83-92, 1972.
 - 24) 日本化学会：化学便覧基礎編 I. 丸善. 東京：P.21, 1984.