

No. 2612 D

33年 7月

鉦床部

A. f. L.

地質調査所報告第178号

汽水域の研究

I. 浜名湖の地球化学的研究

——特に天然ガス鉦床の成因に関連して——

地質調査所

昭和33年6月

553.981,550.43 : 551,481.19 (521.61)

地質調査所報告

所長 兼 子 勝

汽水域の研究

I. 浜名湖の地球化学的研究

——特に天然ガス鉱床の成因に関連して——

通商産業技官 本島 公 司

通商産業技官 牧 真 一

目 次

要 旨	1
I. 緒 言	1
II. 既存の資料による浜名湖の性状	2
III. 観測法と分析法	9
III. 1) 測点の決定	9
III. 2) 採 水	9
III. 3) 採 泥	10
III. 4) 分析法	10
IV. 測定値に関する説明	11
IV. 1) 地域的分布状況の説明	11
IV. 2) 垂直分布状況の説明	13
V. 結果の考察	15
VI. 天然ガス鉱床との関連	21
VII. 今後の問題	25
VIII. 結 言	25
文 献	26
Abstract	1

汽水域の研究

I. 浜名湖の地球化学的研究

—— 特に天然ガス鉍床の成因に関連して ——

通商産業技官 本島 公司

通商産業技官 牧 真一

要 旨

浜名湖は 5~17.5 g/l の Cl をもつ汽水湖で、われわれは年間塩分濃度の最も大きな時期にあたる昭和 31 年 3 月に現地観測を実施した。この時期はまた冬期循環期にあつている。第 1 図には観測点の位置と等水深線とが示されている。

測定結果を地域のおよび垂直的に検討してみると、第 7 図と第 8 図に示すような、いくつかの化学成分分布上の特徴が認められる。これらのうちで、水溶性の天然ガス鉍床と比較研究するうえで大切な性質は下記の通りである。

- 1) 底質中の有機物は、堆積の初期において C よりも N の分解が早い。
- 2) 底質中の org. C/tot. N は大略 10.5 におちつくように考えられる。
- 3) 底質中の可溶性有機物による着色は、Cl が 1~3 g/l 以下の場合に起こり、一般の水溶性ガス田における観測値によく対応する。
- 4) 底質中に含まれる CH₄ 量は、CO₂ 量と正相関を示す。また total CO₂, NH₄⁺-N などの間にも正相関関係がある。
- 5) 湖水における年間変動が大きいにしても、還元的環境が生じやすい汽水湖の底泥中における CH₄, CO₂, redox potential, NH₄⁺-N などの間には、わが国における水溶性ガス鉍床で測られる性質とよく一致するものがある。

I. 緒 言

石油・天然ガス・石炭など有機物の還元的変質分解に関連して、生成され、保存される鉍床は、その生成の初期において、成因的にきわめて重要な 1 つの段階を経てきたものと思われる。石油の多くは海成層に胚胎し、石炭の多くは淡水成層ないし浅海成層にみられ、天然ガスはその分布が最もいろいろな堆積状況を示す地層にまでわたっている。

上述の鉍床の生成初期の状況を知り、かつ現存する鉍床の性質と比較し、われわれの有する地質学的・地球化学的ないし物理学的知識から、鉍床成立の一般的な方向を知ることは、今後新しい探査技術を生み出すうえにきわめて重要であろうと考えられる。

汽水湖 (Cl 0.1~17%) では、種々の観点からするわれわれの研究対象物として適度の塩類をもつた水によつて満たされ、後述のように湖の状況はきわめて変化し易く、海陸の影響の強弱

によつて、そこでは湖底堆積物の変化も起こされる。このことは、産ガス層がたしかに海水ないし汽水域に堆積したと考えられるにもかかわらず、ガス附随水が淡水の性質を示す水溶性ガス鉱床の生成を考える場合などには、対応させてみる必要のある特に大切なことがらである。湖水の有する溶解塩類は、底質中の間隙水の性質にも関連をもち、例えばそのなかのハロゲンの動きなどによつて、メタンガスの湖泥中における発生状況と、底質および間隙水の質的变化を考える場合の基準が得られ易い。

われわれが炭化水素鉱床の成因論的研究を進める場合の出発点は、鉱床の実態の把握と、現世の水圏における生成初期状況の観測研究であろうと思われる。このたびの研究では、浜名湖におけるガスの発生状況を、各種分析法をつかつて、できるだけ詳しく物理的・化学的に把握することが、現場における最大の眼目であつた。しかしながら汽水域を取り扱うのはわれわれにとって今度が最初であつて、ふなれのために意外にまわりくどく観測を繰り返した点が多い。たゞ、淡水域で気づかず、しかも天然ガスに関連深い重要な事項のいくつかは、この研究によつて浮んできたので、不十分な点が多いが、とりあえずこゝに報告して、将来の研究のための基礎資料にしたいと考える。

なお、現地の調査には協同研究の方式をとり、この観測と同時に石和田靖章による底質中の有孔虫の研究と、小穴進也らによる底質に関する化学的研究が行われた。また、柳下秀晴もわれわれと行動をとりにされた。

調査に際して、静岡県水産課、同水産試験場浜名湖分場から実験室・観測船の貸与、設営、観測などに関して、きわめて多大な援助を受けた。記して深謝の意を表する。

II. 既存の資料による浜名湖の性状

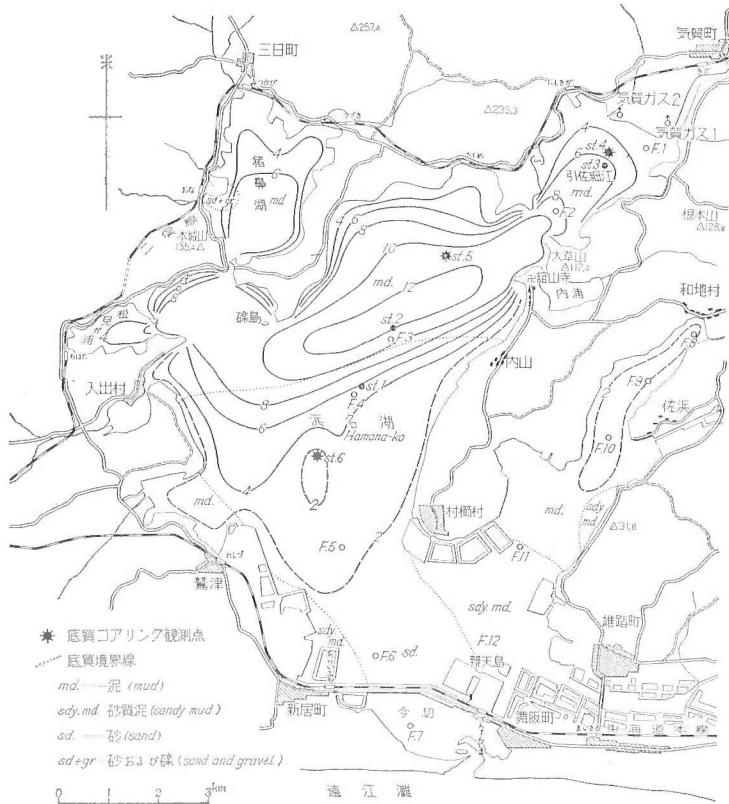
汽水 (Brackish Water) とは、海水と淡水 (Fresh Water) の中間量の塩分をもつた水のことと、Redecke は 1933 年に Cl 量によつて次のように分類した。

Cl < 0.1 g/l	淡水
0.1 ~ 1	低鹹水
1 ~ 10	中鹹水
10 ~ 17	高鹹水
Cl > 17	海水

この分類に従うと、浜名湖の湖水は後述するように大略中鹹～高鹹水の性質をもつて、年間の変動を行つていることになる。

浜名湖は静岡県の西端にあつて、引佐・浜名両郡に跨がり、周囲約 126 km、面積約 72 km² である汽水湖で、かつ富栄養化されている。遠州灘とは幅約 500 m の今切をもつて通じている。その湖盆型態は第 1 図に示すようであつて、最深深度 15.8 m は湖のやゝ北部に位置する。湖の深部は北半部にあり、その深度分布は湖の周辺を構成する古生層の一般方向である北東-南西にほぼ一致している。

浜名湖は歴史時代から主として遠州灘との連絡状況に起因する湖況の変遷の一部が記録されているが、湖の南部は海水の影響により、北部は河川水によつて変動が大きい。塩分の変化は表層にあつては引佐細江・佐浜の支湾において特に大きい。透明度は、昭和 9 年 11 月の観測によると、磯島附近に最大で 4.5 m を示し、ほぼ等深線に並行な分布状況を示して周囲に透明度を減ずる。溶存酸素は、10 m 層において 7 月と 9 月にまったく消失し、いわゆる夏季停滞無酸素層をつくつている。この時期には H₂S を発生し、7、9 月では 8 m 層においても最深部の西寄りでは最高 5.3 cc/l が観測され、10 m 層では大崎半島寄りに 8.8 cc/l が観測されたこ

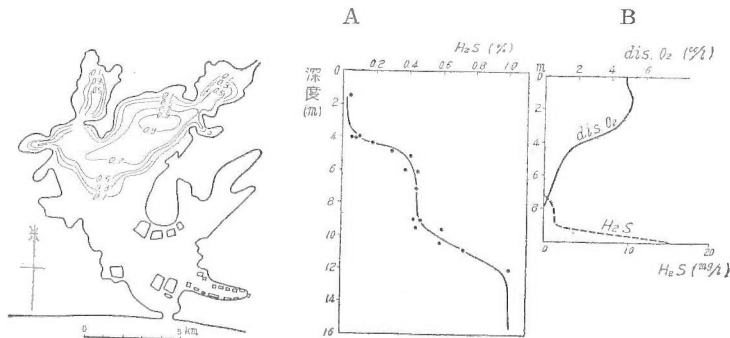


第1図 浜名湖観測点位置，等水深線および底質図

とがある。

底質の分布は第1図に記入したように，今切から本湖の出入・内山を結ぶ以南は砂質，以北は泥質となり，和地の支湾も山崎以北は泥質になる。

故吉村信吉²⁶⁾によると，浜名湖底質中における H_2S の分布は第2図のようである。底質の



A 1937年11月21日における泥土中の全 H_2S % (吉村原図)
 B 1937年8月30日における水中の O_2 cc/l および H_2S mg/l (静岡県水産試験場観測)

第2図 浜名湖における H_2S 分布図

年間における化学性質の変動は、後述のように底層水などに比較してきわめて少ないから、一時期における観測値であつても、非常に参考になる貴重な資料である。この資料によつて、硫酸塩の還元や蛋白質の分解等、ガスの発生に関係深い変化がよく起こる地域をえらびだすこともできるので、汽水域における研究では特に H_2S の分布状況は重要である。わが国の湖沼堆積物中における H_2S は、腐泥 (sapropel, 通称御菌黒泥) 部に特に多く、次表でも汽水域においては著しく多量に存在する。

淡水湖	貧栄養湖	平均泥中の H_2S %	0.025
	中栄養湖	"	0.037
	富栄養湖	"	0.016
	腐植栄養湖	"	0.003
	酸栄養湖	"	0.22
	汽水湖	"	0.45
	汚濁河川	"	0.56

さらに吉村らは浜名湖における湖の深さと、堆積物中の H_2S のあり方とを次のように対応させている。

水深 0~4 m	底質中の H_2S %	0.05
4~9 m	"	0.4~0.5
9~16 m	"	0.5~1

その状況を図示すると第2図の右半に示されるようになる。水深の相違によつて、底層水中の SO_4^{2-} の供給量に大差が無いので、底泥中における H_2S の量は、その生産能力、換言すれば泥中における還元的分解の能力の大小に著しく左右され、したがつてメタン系ガスの発生と関連深いものと思われる。

山本莊毅²⁵⁾の1937年9月の調査によると、浜名湖湖心附近の堆積物は、泥中の全 H_2S が0.21%、灼熱減量14.2%、酸素吸収量2.10 mg/g at 15°C と述べている。このうち H_2S は吉村の値よりもやや小さいが、9月は停滞季にあつていて、しかも吉村の11月の観測値より少ないので、泥中の H_2S の生成と保存に関して考えなければならぬことも暗示しているのかも知れない。

昭和8年6月から、昭和10年7月に至る間に、静岡県浜松測候所¹⁸⁾では浜名湖の観測を7回にわたつて実施し、その結果を公表している。この研究報告によると観測年月は、

第1次観測	自 昭和8年6月11日	至 8月4日
第2次 "	}	9年1月22日
		3月30日
		5月30日
第3次 "	9年9月2日	9月11日
第4次 "	9年11月12日	11月17日
第5次 "	10年1月29日	2月2日
第6次 "	10年4月18日	4月22日
第7次 "	10年7月22日	7月28日

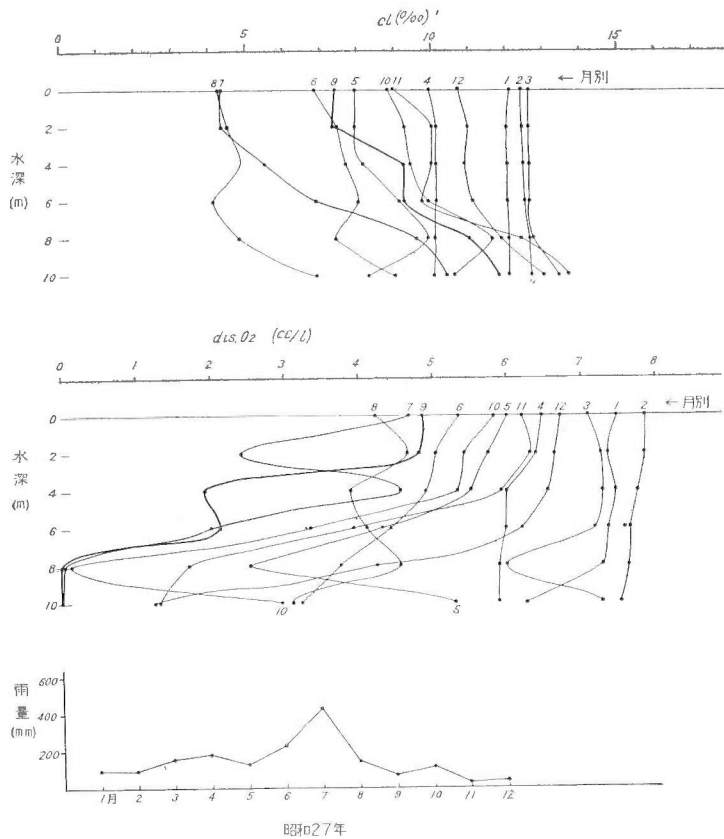
である。まず、底質のコアに関する考察をすゝめるうゑに今回の観測点 St. 4 の5m層と St. 5 の10m層とについて湖水の化学成分の変動を求める必要があるので、この報告書の附図から大略 St. 4, St. 5 附近と思われる地点について求めてみると次頁表のようになる。

すなわち、Cl の変動は St. 4 附近の5m層では第5次観測における(1~2月)14.14 g/l を最高値とし、変動範囲は11.17~14.14 g/l となり、1~2月に最高値であつた。これに対して、St. 5 附近の10m層においては、最高は第4次観測(11月)における15.39 g/l、変動範囲は

観測回数	St. 4 附近の 5 m 層 Cl (g/l)	St. 5 附近の 10 m 層 Cl (g/l)
第 1 次	資料欠	資料欠
第 2 次	〃	〃
第 3 次	12.14	15.28
第 4 次	12.32	15.39
第 5 次	14.14	14.39
第 6 次	12.12	14.34
第 7 次	11.12	14.50
算術平均	12.38	14.78

14.34~15.39 g/l Cl で、St. 4 附近の 5 m 層よりも平均値で大略 2.4 g/l だけ塩素度が大きい。

静岡県水産試験場浜名湖分場^{19) 20) 21)}においては、昭和 27 年 4 月から 28 年 3 月、および昭和 29 年 4 月から 30 年 3 月に至る間にわたって、長期的な定点観測を行つている。この観測点で St. 5 と St. 6 に最も近いものを求めて、その主要成分の年間変動を求めてみたら、前に述べた St. 4, St. 5 の数値とは若干異なることがわかつた。



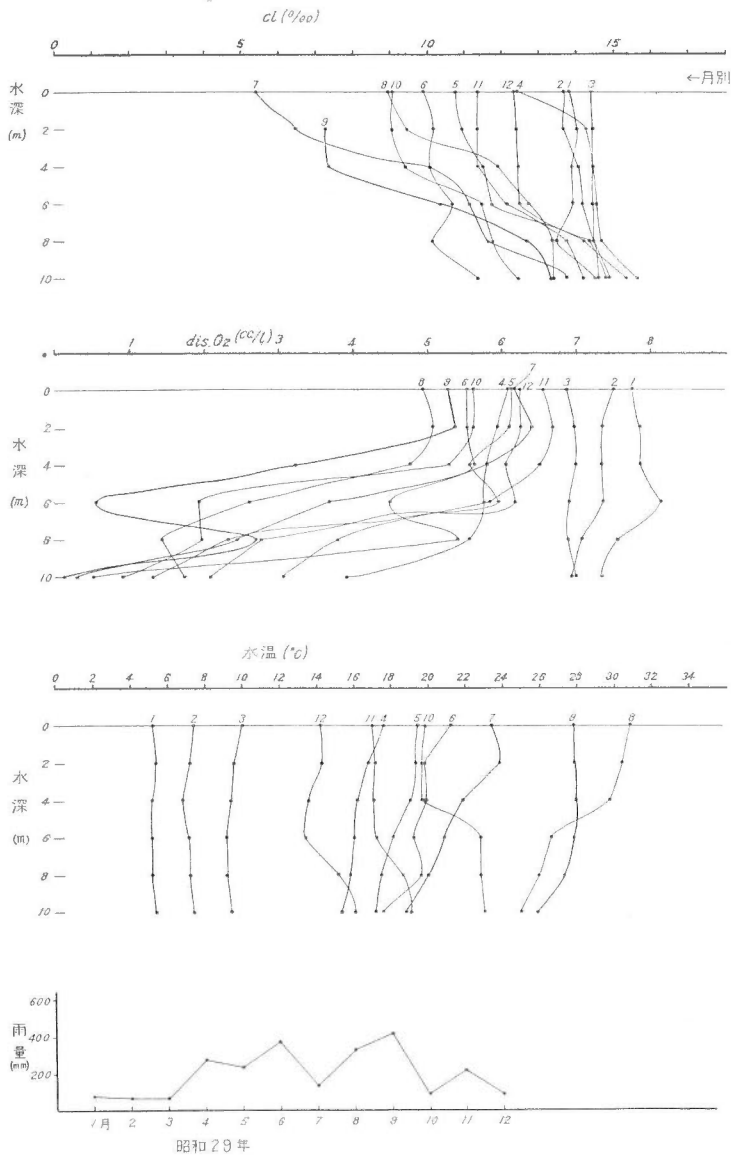
第3図 浜名湖 St. 5 附近の水質年間変動 (その1)
昭和 27 年 4 月~28 年 3 月

第1表 St. 5 附近の水質年間変動

	深 度 (m)	自 昭和 27 年 4 月	自 29 年 4 月
		至 28 年 3 月	至 30 年 3 月
Cl (%)	0	4.3—12.6	5.4—14.4
	2	4.4—12.6	6.5—14.4
	4	4.9—12.7	7.3—14.5
	6	4.2—12.7	10.3—14.5
	8	4.9—12.8	10.1—14.7
	10	6.9—13.8	11.4—15.7
dis. O ₂ (cc/l)	0	4.2—7.9	4.9—7.7
	2	2.4—7.9	5.1—7.9
	4	1.9—7.8	3.2—7.9
	6	2.0—7.7	0.5—8.1
	8	0.0—7.7	1.4—7.5
	10	0.0—7.6	0.1—7.3
水温 (°C)	0		5.2—30.9
	2		5.4—30.4
	4		5.2—29.8
	6		5.2—27.8
	8		5.2—27.4
	10		5.4—25.8

文献^{19) 20) 21)}による St. 5 附近の年間変動については、第3図に昭和27年4月から28年3月に至る1年分を、第4図に昭和29年4月から30年3月に至る1年分を図化して示した。なお表示成分は Cl (%), 水中溶存酸素 (cc/l), 水温 (°C), 雨量 (mm) であつて、変動範囲は第1表に示す。St. 5 附近は浜名湖の最深部に近い位置を占めているが、まず Cl の変動をみると、全層を通じては 4.2~15.7 g/l の間に変動し、表層水では27年度に 4.3~12.6, 28年度に 5.4~14.4 g/l と変動範囲が大きく、10 m 層では27年度に 6.9~13.8, 29年度に 11.4~15.7 g/l と変動が小さい。全般には、7~9月頃最も Cl 濃度が小さいこの時期は、上下層の塩水の比重差が大きく成層し易い。最も塩分の濃い時期は1~3月であつて、この頃は上下層間の Cl 差が小さい時期であり、冬期の循環季にあたる。昭和27年は29年に較べて雨量は少ないが、湖水塩分の濃度は、St. 5 附近に関する限りやゝ薄い傾向にある。St. 5 附近の dis. O₂ の変動は、その範囲が上層に小さくて下層に大きい。この点は Cl の場合と丁度逆になる。水深 0 m では27年度が 4.2~7.9 cc/l, 29年度が 4.9~7.7 cc/l であるが、水深 10 m では27年度 0.0~7.6 cc/l, 29年度 0.1~7.3 cc/l となつている。Cl が少なく、上下の比重差が大きい7~9月頃は、一般に上下層を通じて最も dis. O₂ が少なく、かつ上下層間の差が著しい。10 m 層において dis. O₂ が大略 0.5 cc/l 以下になるのは、6, 7, 9月頃である。27年5月, 10月, 28年3月, 29年6月, 8月などには、6~8 m 層に dis. O₂ の最少値が観測されている。このような例はほかにもみられることで、沈下有機物の停滞, 集積, 分解に起因する¹²⁾。1~3月はほとんど飽和度が100%であり、大気中から酸素が十分に供給されていることがわかる。St. 5 附近の水温は、7~9月頃は上層が高く、下層が低い安定した状況を示している。

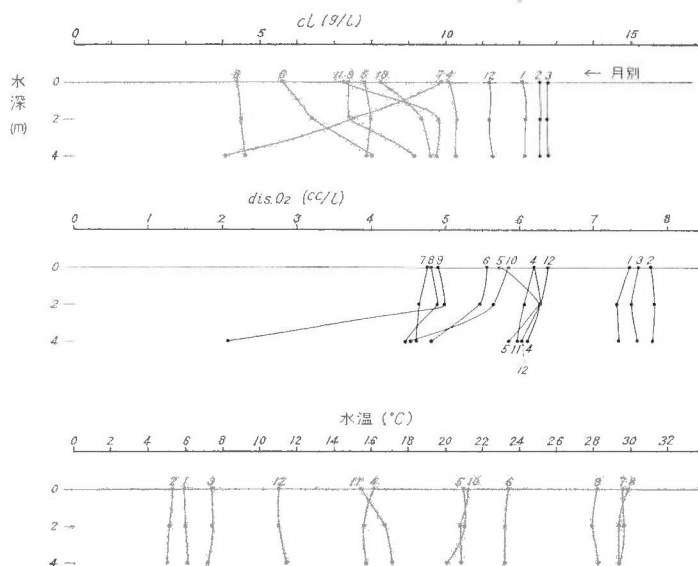
われわれが観測した3月は、St. 5 附近についてみると、最も塩分の濃い、冬季循環期にあ



第4図 浜名湖 St. 5 附近の水質年間変動 (その2)
昭和29年4月~30年3月

たつており、 dis. O_2 は飽和に近く、水温勾配も小さい時季にあたっていることが、以上の資料からよく判断できる。

St. 6 は深度 2 m 前後にあり、湖の南北のほぼ中央部にあつて、St. 5 よりは今切からの海水の影響度が大きいと考えられる位置を占めている。St. 6 附近についても、St. 5 附近と同様に Cl, dis. O_2 , 水温の昭和 27 年度、昭和 29 年度の年間変動を示したが、第 5 図は昭和 27 年度分、第 6 図は昭和 29 年度分である。なお、St. 6 附近の年間変動は一括して第 2 表に示した。この場合に Cl の変動は、St. 5 附近の 4 m 以浅の部分によく似ている。たゞ昭和 27 年



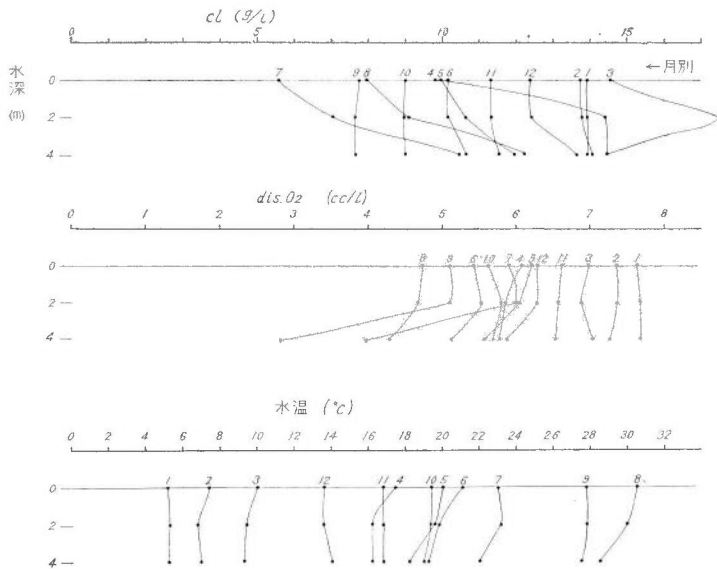
第5図 浜名湖 St. 6 附近の水質年間変動 (その1)
昭和27年4月～28年3月

第2表 St. 6 附近の水質年間変動

	深度 (m)	自 昭和27年4月	自 29年4月
		至 28年3月	至 30年3月
Cl (%)	0	4.3—12.8	5.6—14.5
	2	4.5—12.8	7.1—17.6
	4	4.1—12.8	7.7—14.5
dis. O ₂ (cc/l)	0	4.8—7.8	4.7—7.6
	2	4.7—7.8	4.7—7.7
	4	2.1—7.8	2.8—7.7
水温 (°C)	0	5.3—29.8	5.2—30.5
	2	5.2—29.6	5.3—30.0
	4	5.0—29.4	5.2—28.5

7月のClの垂直分布に関しては理解できない点もある。dis. O₂は1～3月に最高であり、7～9月に最少であつて、この最少期には4m層でも、O₂の減少がみられる。浜名湖におけるO₂の急激な減少は、水深2～4mの位置から起こることがよくわかり、第2図における深度と表泥中のH₂S量の関係図ともよく対応する。

さらに8～10m附近はO₂消失、すなわち夏期無酸素圏をつくる所であることは、すでに述べた通りであつて、第2図からも判断できる。



第6図 浜名湖 St. 6 附近の水質年間変動 (その2)
昭和29年4月~30年3月

III. 観測法と分析法

実験室は静岡県の厚意によつて、県水産試験場浜名湖分場の設備を借用させていただいたので、調査基地は弁天島になつた。弁天島から引佐細江までは湖中約10 km 余の距離があるので、通常の人力による小舟で観測することは時間的に困難であり、またわれわれが観測した3月は前章で述べたように、冬期循環期にあたる風力のきわめて強い季節にあつているので、湖上の作業そのものがきわめて危険を伴なう一時期になつている。このため、水産試験場の動力附観測船を借用し、熟練した船員の協力を得て湖上観測を実施した。

III. 1 測点の決定

気象状況、試料採取時間、船の速度、分析速度、日数等を考慮したうえで、第1図に示す測点を決定した。なお、引佐細江はその北東岸に第四紀に属するガス徴¹⁾を有するので、細江中にも測点を配列し、またこの細江は淡水成分の強い地域にあたるので、湖沼の資料は特に入念にとるよう注意した。

なお、観測点は、あらかじめ大体の位置を図上に予定し、湖周辺の地形、地物を基準にして簡単にコンパスを用いての測量によつて決定した。

III. 2 採 水

観測船が測点に達したらイカリをおろして船を定着する。直ちに重錘をおろして測深し、表層から2 m おきに湖水の観測を行う。現場観測の項目は水温、水中溶存ガス、気温である。採水には所定深度までゴム管をおろし、船上において2口注射器によつて汲み揚げの方法によつた。底層水は湖底から5 cm で採水したが、その方法は十字型に木板をうちつけたものの上

に重錘を適度に乘せ、木板上 5 cm にスタンドに支持して水平にガラス管を結び付け、それをゴム管に連結して注射器で採水した。

表層水は直接瓶中に適当に採取した。

なお採水瓶にはビール瓶を用い、ゴム栓によつて気密（針金によつて気泡をピンの口から追出して）に保ち、実験室に運んだ。

III. 3 採 泥

St. 4, St. 6 においては、青竹の節を抜いて縦に 2 つに割り、これを紐でゆわえたものを湖底堆積物中にさして、コアリング採泥を行った。

St. 5 においては、水深が大きくて竹が湖底までとどかないので、石油課で製作した重錘式の採泥器中にセルロイドを巻いたものをいれて、コアリングすることができた。

他の測点における採泥にはエクマン パーチ採泥器を用いて、表泥をとるにとどめた。

採泥の際には、底質の種類、深度別の泥温、生物の種類を記載し、長いコアについては、10~15 cm ごとに区切つてガラスの広口試料瓶に満たして栓をする。

III. 4 分 析 法

湖水の分析は従来の分析法に従がつた。すなわち

水中溶存ガス CO_2 泡による追出法（名大式法）

Cl モール氏法

Ca^{2+} , Mg^{2+} E.D.T.A. 法

NH_4^+ -N 空気追出法

KMnO_4 消費量 アルカリ性による KMnO_4 消費量

Excess-base B.C.P 指示薬による滴定法

Total CO_2 H_2 による追出法（名大式法）および微量拡散分析法

Redox potential Beckman model N 使用

などである。

湖底堆積物については次の方法によつた。

灼熱減量 乾燥試料を $1,000^\circ\text{C}$ で 1 時間加熱した減量を重量%で表わした。

全炭素 湿式炭素化合物測定法で行い、装置ならびに試薬は小山忠四郎・菅原健・江木不二夫発表化合物炭素の湿式微量炭素測定法によつて行つた。なお本試料は塩化物が多いため、 Cl_2 の防害を除くため、10% KI 液を 2 回通してから水酸化バリウムに吸収させるようにした。試薬は下記の通りである。

試料 0.1~0.2 g

酸化剤 0.05 g クロム酸銀

0.3 g 重クロム酸カリ

1 g 硫酸カリ

吸収液 N/20 $\text{Ba}(\text{OH})_2$

滴定液 N/20 HCl

有機炭素 前回全炭素の測定に使用した器具を使用し、酸化剤を使わず、試料約 1 g を用いて無機炭素を測定し、全炭素-無機炭素=有機炭素として有機炭素を算出する。

全窒素 Kjeldahl 法によつて測定した。分解は Micro-Kjeldahl 法を使用し、蒸溜は Macro-Kjeldahl 法に従がつた。分解剤としてセレン 0.3 g, 硫酸カリ 3 g, 濃硫酸 8 cc を使用、

分解時間は3~4時間、液が黄白色になったときを終点とした。

吸収液 N/50 HCl 滴定液 N/50 NaOH

で行った。

NH₄⁺-N 泥を遠心分離した後、その分離水に KOH を加えて空気蒸溜したものと、直接泥に NaOH, K₂CO₃ を加えて空気蒸溜したものとある。

Cl 底質の遠心分離水につき、モール氏法で測定。

含水率 含水泥の一定量を 105°C で乾燥して減量から含水率を算出した。

見掛比重 秤量瓶と蒸溜水を使用して測定した。

pH 遠心分離水の比色法、および Beckman model N 型のガラス電極を直接底質にさし込み測定。

Redox potential Beckman model N 型の電極を直接含水泥にさして測定。

dis. O₂, dis. (CH₄+N₂) 小穴の報文に述べられた名古屋大学小山氏の方法による。

泥の化学分析 風乾試料に対して通常の岩石分析法に従がつて、CaO, MgO, Na₂O, K₂O, SiO₂, P₂O₅, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO 等を分析した。なおこれの化学分析は田母神司郎が行った。

IV. 測定値に関する説明

第1図に示した測定に対して得た観測値は、第3~5表に示される。第3表は湖水と湖底堆積物の最上部とについての資料を総合し、第4表は気賀町のガス井に関する資料を示し、第5表は底質についての総括である。

説明の順序としてまず各種化学成分について地域的な分布状況を述べ、次いで一地点における垂直分布状況について説明する。

IV. 1 地域的分布状況の説明

まず St. 6—St. 1—St. 2—St. 5—F. 2—St. 3—St. 4 を連ねる線上における各種観測値をまとめると、第7図に示すようになる。まずおもな特徴は次のようになる。

1. 底層水の Cl は、St. 6≒16 g/l が最少で、St. 1≒18.2 g/l が最大、以下順に北東方向に減少し、循環季にあつても深度に対応しつつ僅かながら北東に Cl を減少していることがわかる。St. 6 は深度約 2 m なので雨水の影響をいくらか受けている。

2. 底層水にあつては、dis. O₂ 量と dis. N₂ etc. 量とは正相関、かつ Cl 量とも正相関関係を示した。最深の St. 2 において dis. O₂ と dis. N₂ etc. 量の最大値が測られている。St. 4, St. 5 の dis. gas 量は大差がない。

3. 表泥の redox potential は St. 6≒+150 mV, St. 3 と St. 5 は大略-120~-200 mV であつた。St. 6 の表泥は grey muddy sand, St. 3 と St. 5 はともに grey clay であつた。

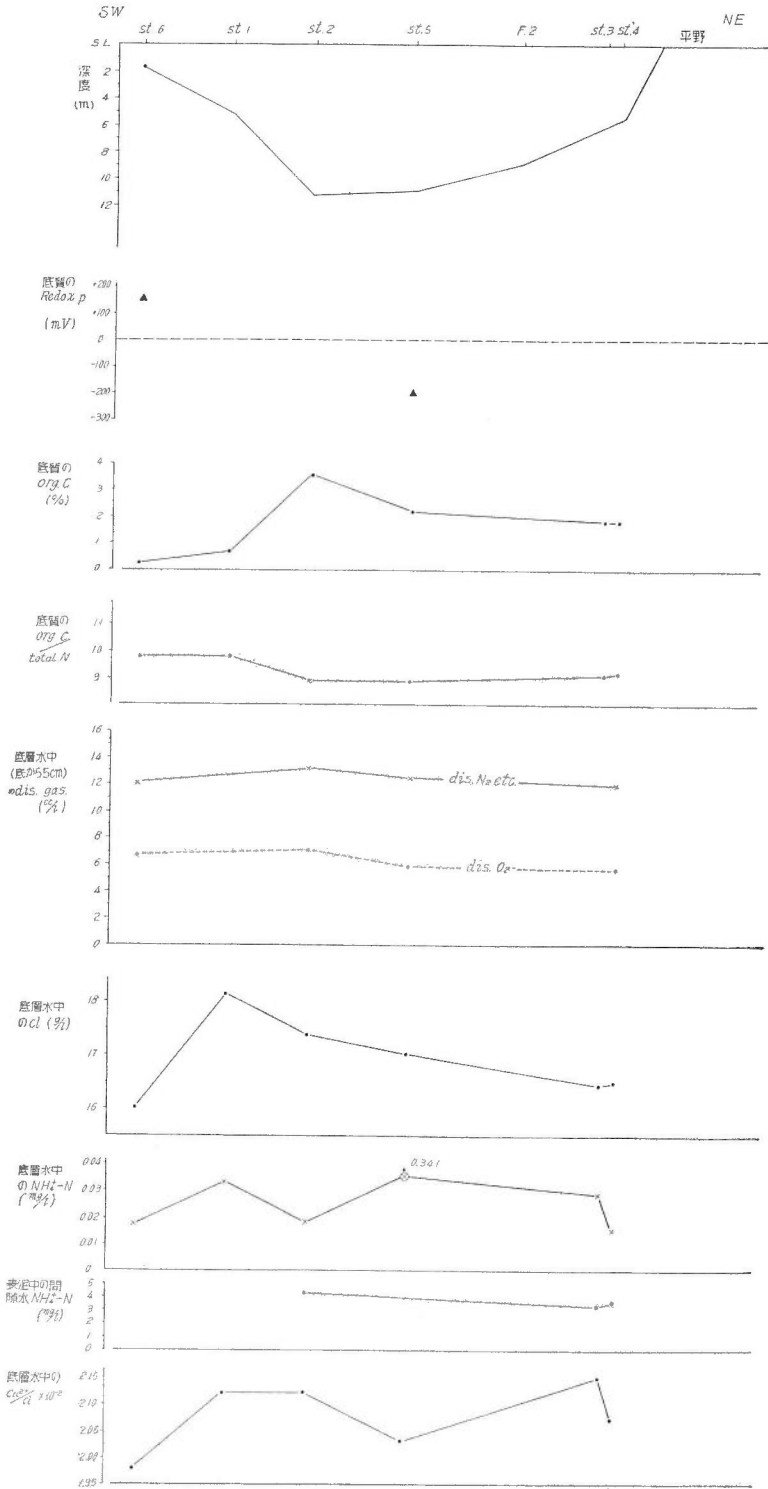
4. 表泥の redox potential の負の数値と、org. C 量とは大略比例する。

5. 表泥の org. C 量は大略粒度分布、深度に相関する。

6. 表泥の org. C 量が粒度分布に相関するので最深部の St. 2 のように 4%程度にまでふえると、org. C/total N の値が小さくなる。C/N の比は 8.9~9.8 程度に変化している。

7. 底層水中の NH₄⁺-N は 0.017~0.341 mg/l 間にあり、St. 5 だけ 0.34 mg/l と特に多く、他は 0.02~0.03 mg/l 程度となつている。

8. 表泥の間隙水中にある NH₄⁺-N は、St. 2, St. 3, St. 4 にあつてもいずれも 4~3.2



第 7 図 浜名湖における北東-南西断面の化学成分分布

mg/l 程度である。

9. 底層水中の $(Ca^{2+}/Cl) \times 10^{-2}$ 値は St. 6 に最少で2以下, St. 1~2~3は2.1と2.5の間にあるが, NH_4^+-N の多い St. 5 では2.05程度を示した。

10. 和地支湾は Cl がやゝ少ない傾向がみられた。F.8は pH 8.7 で異常である。

11. 底層水と表泥間隙水中の Cl は第6表のように前者に多い事実がある。

IV. 2 垂直分布状況の説明

第3表, 5表の資料を整理して, St. 4 については第8図, St. 5 については第9図を得た。第8図の化学成分のなかには, 第7表に示した底泥の分析値を図示した部分も含まれている。

このたびの観測で最もよくコアリングができ, かつ比較的淡水の影響が強い引佐細江における St. 4 について以下に主として述べる。

1. 水温は表層に高く 17.9°C, 2 m 以下は 11.6~10.8°C で下方に低い。泥温は 60~70 cm の間で大略底層水水温の 10.8°C になるが, 最底は 10 cm における 8.7°C であり, これから水温の上昇につれて泥温もあがる傾向にあることがよくわかる。

2. 底質は, 22 cm まで dark grey clay, 以下 117 cm まで grey clay であつた。80 cm 位にやゝ黒化した木片があつた。

第6表 底層水と表泥間隙水の Cl 比較

Loc. No.	底 質	① 底層水 Cl (g/l)	② 表泥間隙水 Cl (g/l)	①-② Cl (g/l)
F. 7		15.9	—	—
F. 6		16.0	—	—
St. 6	gy. mdy. s.	16.02	13.7	2.32
F. 4		16.0	—	—
St. 1	mdy. s.	18.16	17.2	0.96
St. 2	blk. cl.	17.38	15.9	1.48
St. 5	gy. cl.	17.02	13.2	3.82
F. 2		16.9	—	—
St. 3	gy. cl.	16.43	15.6	0.83
St. 4	d. gy. cl.	16.46	16.0	0.46
F. 1		16.1	—	—

3. Cl は表層では雨水, 河水のため稀釈されて 3.7 g/l であるが, 底層水は 16.5 g/l ある。底質間隙水では表泥の Cl は 16 g/l あるが, 下方にその量を減じ, 110~117 cm 間では 12.7 g/l と非常に減少する。

4. 湖水の NH_4^+-N は 10^{-2} mg/l 程度で少ないが, 底質間隙水の NH_4^+-N は, 0~10 cm で 0.65 mg/l から 10~20 cm の 2.6 mg/l に急増し, 以下 100~110 cm では 10.6 mg/l にもふえる。

5. 底層水の redox potential は約+450 mV, 底質中では約-90~-160 mV である。redox potential と org. C はやはり相関するが, 前述の地域分布の場合と逆の関係になっている。また org. C は 90~105 cm で最高値を示したが 105~120 cm では減じたので, 下方に増加するということはないが, org. C/total N の値は 0~30 cm の 9.2 前後から, 30~117 cm 間の約 10.5 前後に急増する。

6. 含水率(重量%)は50 cm までに、72~55%と急激に変化し、以下はさらに50 cm さがっても50%程度を示している。

7. コアー中の dis. gas は、0~15 cm 間において dis. $O_2=0.27$ cc/l, dis. (CH_4+N_2 etc.) =15.8 cc/l, 15~75 cm の間は dis. $O_2<0.15\sim0.17$ cc/l, dis. (CH_4+N_2 etc.) =16.7~17.1 cc/l で下方にやゝ O_2 を減じ、 CH_4+N_2 etc. を増加する。

底層水は dis. $O_2=5.64$ cc/l, dis. N_2 etc. =11.9 cc/l である。

したがって底質中では、底層水に較べて急激な O_2 減少と、 CH_4+N_2 etc. の増加がおこっているわけである。

8. 湖水の total CO_2 は2~5.8 m 間では、90~100 mg/l である。底質間隙水中の total CO_2 は30~110 cm 間では下方に増加し、その概略値は380~670 mg/l となつている。

9. 湖水の pH は8.3~8.4, 底質中の間隙水は8.3~8.4 である。

10. St. 4 の底泥の分析値(第7表)中で特に著しい深度方向の特徴は、 Fe_2O_3 は下方に増加し、 Na_2O は下方に減少することである。第8図によると、St. 4 においては Fe_2O_3 ,

第7表 浜名湖底泥分析表

Loc. No.	St. 4	St. 4	St. 4	St. 4	St. 5
	0~15 cm Core	30~45 cm Core	60~75 cm Core	90~105 cm Core	表 泥
SiO_2	42.46	43.18	44.30	43.08	45.79
TiO_2	1.26	1.20	1.48	1.38	0.90
Al_2O_3	15.20	15.70	18.18	14.74	15.06
Fe_2O_3	5.02	5.42	5.58	6.74	3.98
FeO	4.16	4.08	4.24	4.08	3.44
MnO	0.10	0.12	0.12	0.10	0.16
MgO	6.48	6.14	6.58	6.16	3.98
CaO	2.08	2.18	2.24	2.16	2.20
Na_2O	2.44	2.06	1.60	1.66	2.96
K_2O	1.32	1.38	1.20	1.30	1.76
P_2O_5	0.18	0.14	0.20	0.16	0.12
Ignition loss	19.72	18.11	14.46	18.39	20.10
Total	100.42	99.71	100.18	99.95	100.45

分析：田母神司郎

Na_2O , FeO を除いて、0~75 cm 間と、90~105 cm 間に化学成分の垂直分布傾向に不連続がみられているようである。

11. 湖水の $KMnO_4$ 消費量は大略8~9 mg/l を示す。

12. St. 4 の底層水では $Ca^{2+}/Cl=0.0212$, $Mg^{2+}/Cl=0.0677$, 表層水では0.0220 と0.0645 であつて標準海水の0.0215 と0.0669 に近い値を示す。

次に St. 5 について垂直分布を簡単に述べる。

1) 底質は0~23 cm 間 grey clay である。

2) 湖水の Cl は下方にやゝ増加し、底層水は17 g/l であるが、表泥間隙水は13.2 g/l で少ない。

3) コア中の dis. O_2 は 0.28 cc/l , $\text{dis. CH}_4 + \text{N}_2 \text{ etc.} = 15.7 \text{ cc/l}$ で, St. 4 の $0 \sim 15 \text{ cm}$ と同程度である。

4) 湖水の pH は 8.4, 底質間隙水は 8.1 を示す。

5) $\text{org. C}/\text{total N}$ は $8.8 \sim 8.9$ でやゝ小さい。

6) 第7表から底泥分析値の特徴を述べると, St. 4 に較べて St. 5 は

SiO_2 多	Fe_2O_3 少	MnO 多
Na_2O 多	P_2O_5 少	TiO_2 少
FeO 少	MgO 少	K_2O 多
Ig. loss 多		

という結果になっている。

7) redox potential は $-196 \sim -200 \text{ mV}$ 以下である。

8) total C はきわめて多い。

9) 底層水と表層水の Ca^{2+}/Cl , Mg^{2+}/Cl の値は, それぞれ, 0.0204 , 0.0696 および 0.0210 , 0.0692 でこれも標準海水の値にきわめて近い。

このほか, コアリングした St. 6 の垂直的性質は次のようである。

(1) 底質は, $0 \sim 1 \text{ cm}$ light brown muddy fine sand, $1 \sim 15 \text{ cm}$ dark grey fine sand, $15 \sim 26 \text{ cm}$ grey fine sand であつた。

(2) 含水率は砂質のために, $33 \sim 29$ 重量%となつていて, 他の地点よりも非常に小さい。

(3) 間隙水 pH は $7.7 \sim 7.9$ 。

(4) コア中の dis. O_2 は $0.25 \sim 0.27 \text{ cc/l}$, $\text{dis. CH}_4 + \text{N}_2 \text{ etc.}$ は $15.0 \sim 15.1 \text{ cc/l}$ で, St. 4, St. 5 よりも少ない。

(5) total C は St. 2, 3, 4, 5 に較べて一桁少なく, 0.3 %前後を示す。

(6) ignition loss も 2 %前後で少ない。

(7) redox potential は $0 \sim 10 \text{ cm}$ $+158 \text{ mV}$, $10 \sim 24 \text{ cm}$ $+140 \text{ mV}$ と下方にやゝ値は小さいが正であつた。

最後に気賀のガス井について第4表から一言すれば, まずこの井戸の特徴として次の性質がある。

i) Cl が $18 \sim 41 \text{ mg/l}$ で少ない。

ii) ガス水比はきわめて悪い。

iii) $\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$, $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ は海水に較べて非常に大きい。

iv) $\text{dis. CH}_4 + \text{N}_2 \text{ etc.}$ が 58.0 cc/l を示す測点番号気賀ガス2の方は, おゝむね典型的な水溶性ガス鉱床の Low Potentiality の性質を示している。その HCO_3^- は 325 mg/l であり, KMnO_4 消費量は 20.8 mg/l である。

v) 要するにこの井戸は淡水と共存するメタン系天然ガスの産ガス井である。このような状況が汽水湖湖岸で観測される事実は注目される。

V. 結果の考察

前章で述べた測定結果に関して以下若干考察をすゝめてみる。

われわれの観測は, 年間の最も塩分の濃い時期のものであると考えられることは, 第3~6図と, このたびの Cl の測定値からまず間違いなく断定できる。

dis. O_2 と dis. gas についても, 深度の大きな所でも湖底上 5 cm 層においても飽和度の 75 %程度の dis. O_2 を含む。これらの値は, H_2S 臭などもある嫌気性底質の直上の水としては

かなり大きな数値であり、完全に循環季にあたっていることも断言できる。

KMnO₄ 消費量は7~10 mg/l の値が湖水で得られたが、たゞ興味ある特例は St. 4 の 0 m (表層水) における 22.4 mg/l, F. 8 の 13.6 mg/l で、これらはいずれも河川による影響を明示している。St. 4 の表層水は淡水によつて塩分の濃度が約 1/4 に稀釈されているが、偶然にも KMnO₄ 消費量は気質ガス井から採取したガス附随水の値 20.8 mg/l に近い値を示している。

湖水の pH は St. 4 の 0 m で 7.4 を示し、淡水の影響がある。F. 8 では 8.7 という異常に大きな数値であるが、その原因ははつきりしない。

湖水の NH₄⁺-N は各層別な特徴もみられないが、たゞ St. 5 と F. 3 の底層水ではそれぞれ 0.341, 0.165 mg/l と湖水に対する観測の約 10 倍の数値を示しているのが注目される。同じ地域の St. 2 における底層水の NH₄⁺-N が異常値を示さないことから考えて、おそらく試料採取時に底泥を攪乱して、泥および泥に含まれる間隙水を、底層水として同時採水したものである。

湖水の Ca²⁺, Mg²⁺ は Cl と比較すると大略海水の値に近似している。底質中の間隙水に関する事項は小穴の報文を参照されたい。

汽水域の底泥中の海水残留などに関しては、北海道大学朝比奈英三の研究結果¹⁾がある。朝比奈は藻琴湖・厚岸湖・石狩古川などについて調査し、底層水と底質含有水中の Cl を比較して次のような数値をあげている。

藻琴湖* 6~7 月観測

含有水 g/l Cl	3.49	9.79	2.74	14.2	15.92	17.42
底層水 g/l Cl	3.98	2.28	11.54	14.45	16.00	16.92
地点	淡水の流入する所	オホツク海流出口	注入河川そば			
水深 (m)	0.3	0.5	0.5	2.0	2.8	4.3
底質	sd.	mdy. sd.	mdy. sd.	md.	md.	sapropel

* 底層水中の鹹度が安定した 2 m 以深では、底層水の鹹度とほとんど同じく、成層不定な所は異なる。

他の例として

地域	石狩古川		濤沸沼	淡水池
採水地点	出口	最深部	下部湖盆	
水深 (m)	3	10	1.5	0.5
底質	clay	sapropel	md.	sd. md.
含有水 g/l Cl	—	0.47	10.53	0.043
底層水 g/l Cl	—	0.04	2.67	0.038

そして結論的には、水質変化がきわめて小さい水域では底泥中の含有水はそれを cover する水とほとんど等鹹であつて、これらは汽水域では異鹹湖の深水層や、等鹹湖の停滞水域にみられるとされた。また大型の汽水域では、底層水の鹹度変化もそれほど急激でなく、かつ広範囲にわたらないのが普通で、底泥はごく表層部を除いては、ある区域ごとにほぼ一定な鹹度を

保つ場合が多いと述べている。一般に相当に鹹度変化のひどい湖水の底泥中でも、底質中へ10時もはいれば鹹度は一定といわれる。底泥中に含まれる水の塩分濃度は底層水の変化範囲よりはるかに小さいし、時間的にも大分おくれるといえる。Nicol¹³⁾が面積20平方ヤード以下で水深18~22ftの湖沼群で研究した結果は次の通りであつて、上述のことがよくわかる。

底層水塩分 (%)	底泥含有水 (泥表からの深度時)			
	0—1	1—2	2—3	3—4
12.8—32.0	12.1—31.4	15.9—29.0	15.2—28.5	18.8—27.6

上述の資料から、このたび測定した資料をみると、まず第6表に示した底層水と表泥中の間隙水のCl量は、いずれも底層水にClが多く、その量の差は0.5~3.8g/lに達している。このことについて第3~第6図から判断すると、われわれの観測したのが3月であつてみれば当然の結果であるといえる。

表泥の間隙水が底層水の大略の年間平均Cl量を示すものと仮定して、地域的に底層水Cl量年平均を求めてみると、引佐細江で大略15.5~16g/l、湖心部で16g/l、St.1で17g/l前後となる。しかしSt.5は第3図、4図から底層水の年間平均Clを目算で求めると、昭和27年度は大略12g/l前後、29年度では約13~14g/lになつている。また昭和9~10年の観測値は14.78g/lの平均値を得ている。一方表泥間隙水は16g/lもあるので、エクマン採泥器でとつた表泥間隙水のClは、正確に年間の平均値を表わさないで平値値に±1g/l前後の値を示すと解すべきであらう。

したがつてわれわれが底層水の長期観測値とよく対応させて考えられるのは、コアリング採泥資料である。St.4におけるClの垂直分布は、表泥部で16g/lであるが、20~30cmでは14.4g/lと急減している。第3~6図からも底層水のCl年間平均値に変動があることは充分うかがえるが、昭和9~10年の観測値は平均Cl量12.38g/lとなつている。この数値はSt.4のコア1m以深の間隙水Clにほぼ等しい値であるが、表泥ではかなり異なつている。St.4のClが深部に減少する事実について、最も常識的な解釈は上述のClの平衡関係からしても、上部よりも大体その部分が堆積する頃に底層水の平均塩分濃度が低かつたことである。第8図に示したコアの含水状態からも、間隙水の上部方向への絞り出し、移動がうかがえるので、Clの堆積物中における分布は、その間隙水が含まれている堆積物よりも古い部分(深部)までも含めた平均化された数値を示すべきである。したがつて、有孔虫などによつて判断される堆積状況と、Clの間隙水中の濃度とは、新しい堆積物に関しては必ずしも時間的に一致しない。St.4から考えられる常識的な答えは、平均値としていまよりも淡水の影響が強かつたということである。

この時間と化学成分との対応は、底質の堆積速度がわかると上述の程度よりも重要なことがわかるが、残念ながら堆積速度は湖沼標式の変遷、すなわち湖沼の老若によつて非常に異なるので¹³⁾¹⁴⁾、こゝでは浜名湖以外の湖に関する資料の1,2を参考までに示すにとどめて、下記の数字から、St.4における117cmに及ぶ堆積に要する年数の大略を推察したい。

中禅寺湖(貧)……底質30cmまでは0.6mm/年

諏訪湖(富)……沈澱量2g/年/cm² 堆積量を沈澱量の1/3、見掛比重1.3とすると、

$$1.54 \text{ cm} \times \frac{1}{3} = 0.51 \text{ cm/年}$$

高須賀沼(富)……沈澱量33g/年/cm²

高須賀沼 (富) …… 沈澱量平均 17.5 g/年/cm²

次に、底質の有機物について説明するが、すでに筆者の一人牧は主たる研究題目にこれを取りあげて仕事をすすめているので、こゝでは以下に簡単に述べる。

浜名湖底泥はわが国各地の湖沼堆積物に較べて、有機物は多い方ではない。すなわち西条¹⁹⁾によると、わが国の湖沼標式対応平均有機物量は次のようである。

湖沼標式	Ig. loss % mean	N % mean	C % mean	C/N
貧栄養湖 I (透明度 >16m)	11.0	0.30	2.5	7.69
〃 II (透明度 12-16m)	16.0	0.46	4.0	8.33
〃 III (透明度 8-12m)	12.9	0.35	3.0	10.00
中栄養湖 (透明度 4-8m)	15.4	0.55	4.8	8.33
富栄養湖 (〃 <4m)	14.9	0.48	4.3	9.10
富栄養湖 (汽水)	15.1	0.31	2.4	7.69

さらに 2, 3 の例をあげると、

地域名	Ig. loss (%)	N (%)	C (%)	C/N
諏訪湖 ²²⁾	—	0.668~0.718	4.14~4.46	6.21
東京湾 ²²⁾ (河より遠い)	—	0.174~0.26	1.88~2.09	8.24~10.69
高須賀沼	18.83~18.94	0.852~0.700	6.03~6.06	7.11~8.62
海底 (酒田沖) ⁴⁾	—	0.028~0.276	0.32~2.07	8.2~14.7

となる。

これに対して浜名湖底質では org. C は 0.2~3.6%, org. C/total N は 8.9~10.6 である。

西条¹³⁾¹⁴⁾らは新生沈澱物を研究し、次の結果を得ている。

	C (%)	N (%)	C/N
木崎湖	4.0~6.1	0.40~0.71	7.2 ~11.3
青木湖	5.2~9.7	0.73~1.10	6.75~10.1
中綱湖	2.3~3.6	0.25~0.36	9.2 ~10.3
茨城県中沼	4.7~6.6		5.3 ~ 9.1

上掲の資料からいずれも沈澱物中の有機物の量と質の一端がうかがえる。

Vinogradov²⁴⁾ および Birge and Judy²⁷⁾ によると、現棲生物の C, N は次のようになっている。

	C (%)	N (%)	C/N
Diatom ²⁴⁾	14.47~25.27	2.10~5.40	4.08~8.60
Diatom ²⁷⁾	34.5	3.66	9.4
Blue glgae ²⁷⁾	48.3~49.5	8.27~9.30	5.25~5.84
green algae ²⁷⁾	49.7	7.61	6.52

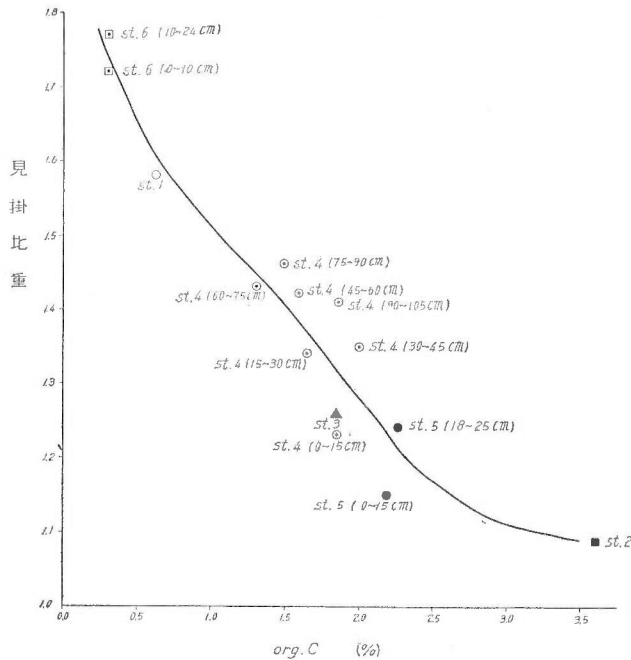
以上の各種資料からすると、現棲の珪藻、緑藻、藍藻など、比較的湖底・海底の泥質部に対しての有機物供給源と考えられる生物において、その C/N は 4.08~9.4 であり、新生沈澱物は底質よりやや有機物が多い傾向を示しつつ、C/N は上掲の生物より大きい 5.3~11.3 となり、底質の C/N は 6.21~10.00 となつていることになる。堆積物中の C/N は特殊な環境を除いて、大体 6~11 程度になり、汽水域、海水域⁹⁾でもその値に大差がみられない。このことは後述するように、有機物の分解と炭化水素鉱床の成立の点から注目される。

第 7 図の C/N 値は既述の通り St. 6, St. 1 などの表泥では湖盆の南部で大きな値を示していて、これは J. G. Lipman⁸⁾ らが土壤の方で発表した粗粒土(軽土)の方が微粒土(重土)よりも NH₃ 化が盛んで同時に逃げやすいことに対応すると考えられる。このため N の消費が多く、C/N の値が大きくなると考える。また Maurice A. Carrigy²⁾ は西オーストラリアの Warnbro Sound における有機物の堆積について、堆積物の C/N の分布を示した。これによると、底泥では有機物すなわち org. C, total N が多く、砂質の底質では C/N の値が最高を示している。その分布の範囲は

C/N	7.35~26.1
org. C	2.7~30.6%
total N	0.104~2.36%

である。

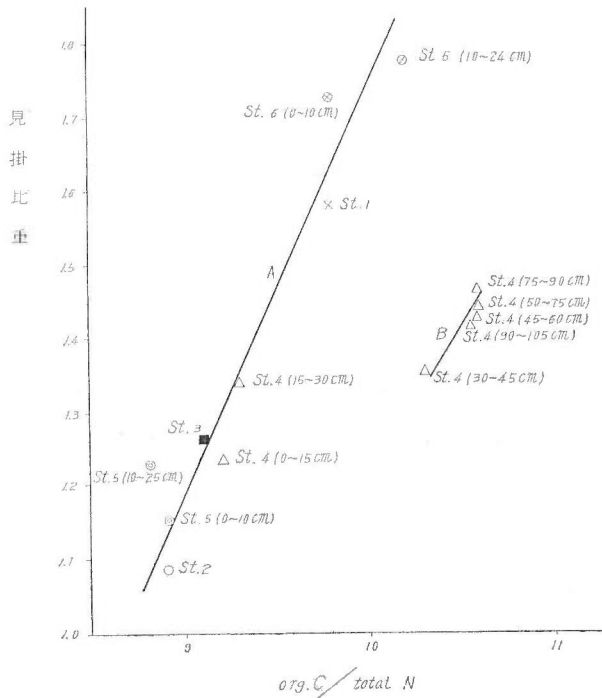
さて浜名湖の C/N の垂直分布をみると、コアの上部約 30 cm までは 9.2~9.3 であるが、それ以下は 10.3~10.6 となつている。その説明として考えられるのは、上述の資料から、おそらく 117 cm までの堆積物中の有機物 C/N は(上下の岩質の相違が小さい)堆積当初にあつて大差なかつたとして、堆積後に C/N 増加方向への分解が進んだものとするのである。これに対して、例えば Cl 量が深部に減少するなどの資料に注目して、湖沼標式と C/N の表でみられる通り、深部にある旧時の堆積部には堆積当初から C/N が大きく、深部より高鹹性に



第 10 図 底質の見掛比重と有機炭素量との関係

なつてきた 30~0 cm の時代 (第 8 図の Cl およびコアの色に注意) に, C/N の小さいものが堆積したとも考えられるか知れないが, 筆者らは第 7 図において堆積物の C/N と底層水の Cl 量が逆相関であることから, 一応この浜名湖においては, 深部については分解による C/N の増加があると考えたい。30 cm 以深では C/N がほとんど変化しないので org. C, total N はバランスしている。

底質の見掛け比重と org. C 量との間には, 第 10 図のような関係がある。これは含水量にも関連があるが, 一般にみられるように有機物は粒度に比例するというを示している資料である。また見掛け比重と org. C/total N の関係は, 第 11 図となり, 30 cm より上層の底



第 11 図 浜名湖底質の org. C/total N と見掛け比重との関係

質は図の A 線に集まり, 表泥として一括考えられる。A 線にのるものでも下部のコアに C/N がやはり大きくなる傾向がみられ, St. 6 のような砂質の部分は, 前記の NH_3 化が泥質より盛んなことによる C/N の増大と考えられる。St. 4 の 30~105 cm コアは B 線に集まる。この St. 4 における 30 cm (正確には 22 cm) という深度は, 前述の通り, 泥の色調, Cl, dis. gas, org. C などの激変する所にあつている。見掛け比重があがつて C/N が急変するので, 30 cm 辺において急激な N の逃散, おそらく NH_3 化による N の消費が考えられる。

底質の深部にやゝ pH 値が小さくなるのは, total CO_2 , dis. gas, NH_4^+-N などの資料から有機物の嫌氣的分解によつてできた CO_2 に原因するものと考えられる。

なお底質中の redox potential は, Emery らによつてカリフォルニア沖の堆積物ではかられたものと, 大体 order が合致している。

VI. 天然ガス鉱床との関連

地質時代の新しい堆積岩のなかに胚胎する水溶性天然ガス鉱床の場合に、ガス附随水の Cl^- が、数千 mg/l 程度のものを求めてみると、北海道岩見沢市幌向、島根県簸川平野久木村附近、熊本県熊本平野西側、東京ガス田浅層などがある。数千ないし数万 mg/l Cl^- になると、わが国の代表的な水溶性ガス田である南関東、新潟などがあるが、これらはいずれも第三紀鮮新ないし鮮新洪積世に属している。

浜名湖の北岸には気賀町のガス徴地があるが、石和田靖章²¹⁾らによると、こゝは、淡水がガスに附随し、きわめて貧弱なガス徴である。今回の調査でも、第4表に示されるような観測値が得られた。このなかでも特に、その含ガス層が第四紀層であり、かつ成因的に汽水湖である浜名湖と密接に関連するために、附随水中の Cl^- 、 CO_2 、 $NH_4^{+}-N$ 、 $KMnO_4$ 消費量などに注意して資料を集めた。このように、ガス層が海成ないし汽水成と思われるのに、ガス附随水が淡水である例は、石狩平野・青森市・河北潟の一部などがあり、 Cl^- の淡水への回帰問題からは特に注目される。

さて、 Cl^- の淡水に対する回帰に関連して、石狩平野のようにガス附随水が淡水になつて、しかも現在理論値程度のガス水比を示す地域が注目の対象になる。この事實は、地層として相当に地下深く埋没されたものでも、なおそこで水溶性のガス鉱床が成立する(この場合さらに下方にガスがないのでガスの vertical migration は考えられない)ことを示している。しかもこの場合には、ほかの淡水ないし汽水性ガス附随水を産するガス鉱床と比較し、大差ない $NH_4^{+}-N$ 、 $KMnO_4$ 消費量、total CO_2 などを含んでいて、それらが浜名湖の堆積物と比較検討されうることは特に注目される。

湖底へ堆積した有機物の嫌氣的分解過程においては、泥と間隙水との間にどのようなバランスがとれているかを知るのは大切であつて、この1例として余吾の海における名古屋大学の研究²³⁾をひけば次のようである。

Core depth (cm)	Core			Interstitial Water			
	org. C (%)	total N (%)	C/N	org. C (mg/l)	total N (mg/l)	C/N	total CO_2 (cc/l)
0—15	4.03	0.387	10.4	144.6	11.7	12.33	103
15—30	3.94	0.411	9.57	49.8	10.54	4.72	108
30—45	4.87	0.448	10.9	164.4	20.18	8.14	145
45—60	6.62	0.578	11.4				

また小山忠四郎²²⁾による仁科三湖における例は次の通りである。

	Core の位置	Core C/N	Interstitial Water C/N
中 網 湖	0—10	15.40	15.4
	10—17	16.10	14.8
	17—25	15.68	12.8
	25—30	14.97	8.5
木 崎 湖	0—10	14.58	10.5
	10—17	16.63	14.2
	17—25	15.56	11.9
	25—35	15.33	9.2

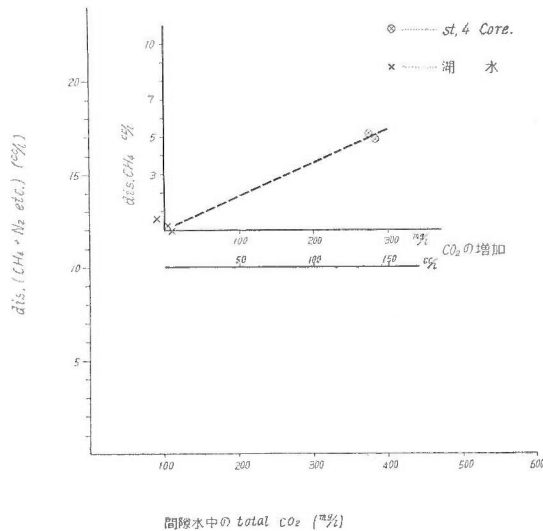
通覧すれば、この例もやゝ深部に C/N が大きくなると思われる傾向があり、間隙水の C/N は 2 例とも下部にやゝ小さい。このことは total CO₂ の増加、ガス（おそらくメタンガス）の増加などのための炭素の消費によるもので後記の上諏訪ガス附随水の C/N の小さいこと⁹⁾、泥炭地下水で下層に向かって C/N 値が減少すること⁹⁾ などから理解することができる。これはまた水に移動した有機物が分解されやすいことを示すものと思われる。

上諏訪ガス田のガス附随水は、小山忠四郎⁹⁾によると、org. C は最高 23.75 mg/l, total N は最高 44.2 mg/l であり、C/N 値は 0.64~7.87 であるが、ガスの多い附随水では C/N < 1 であつて N が多い。ところで、この場合のガス層深度は約 150 m, ガス水比 1:2 として、CH₄ ガス中の C は約 300 mg/l, また total CO₂ を 300 mg/l とするとその C は約 100 mg/l 前後になると見積れる。この場合ガス体の N₂ は少ないから、地下水中の全 C/N は 10 前後になるはずである。したがつてこの場合はガスの発生につれて、泥岩中の C/N 比は 10 前後におちつき、附随水中の org. C/total N は 1 以下になるわけである。

海水下で嫌氣的な分解が進んだ岩石の例として、千葉県茂原 R-3 号井における鮮新世のコーアに関する下河原達哉¹⁷⁾の資料をみると、org. C は 0.5~0.75%, total N は 0.08~0.11, org. C/total N は 4.6~8.1 の間にある。さらに海成有機岩の例をあげると、秋田県五城目油田¹⁸⁾の地表サンプルで、細粒の岩石においては C/N は大略 6~10 であり、同じく秋田県黒川油田¹⁹⁾の天徳寺層~女川層の海成泥岩では C/N は 13~30 程度である。

上記のように、水溶性鉄床の地下水における有機物の分解が C/N 大略 10 前後で行われると、泥岩の C/N も 10 前後におちつくはずである。

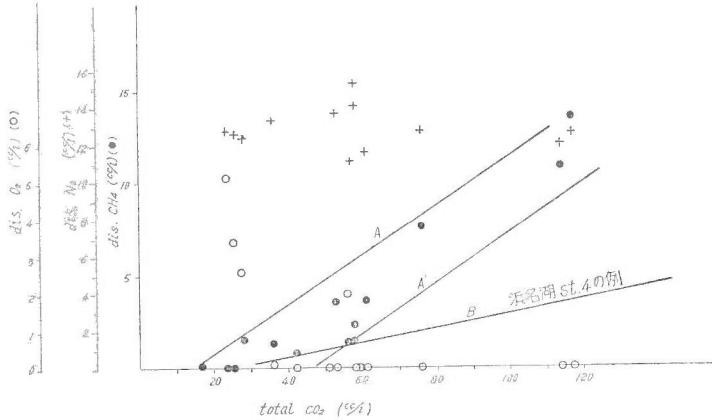
次に浜名湖の底質中における嫌氣的分解の状態を、水溶性ガス調査の場合の重要な indicator である dis. gas, CO₂, NH₄⁺-N などから検討してみよう。



第 12 図 浜名湖における CO₂ と CH₄ との関係

第 12 図には St. 4 の底質中における total CO₂ と dis. CH₄+N₂ etc. の関係を示す。なお、第 12 図には底層水の例を 3 点記入したが、元々海水中には CO₂ 類が存在するので、この底層水 (dis. O₂ の多い、したがつて dis. CH₄ のない) を基点として、図のように原点を移動

し、二軸を CO_2 の増加と dis. CH_4 量とみなしてこの両者の関係を点線で求めてみた。すなわち測定値から推定すると、total CO_2 150 cc/l の増加に対して、 dis. CH_4 5 cc/l の増加である。



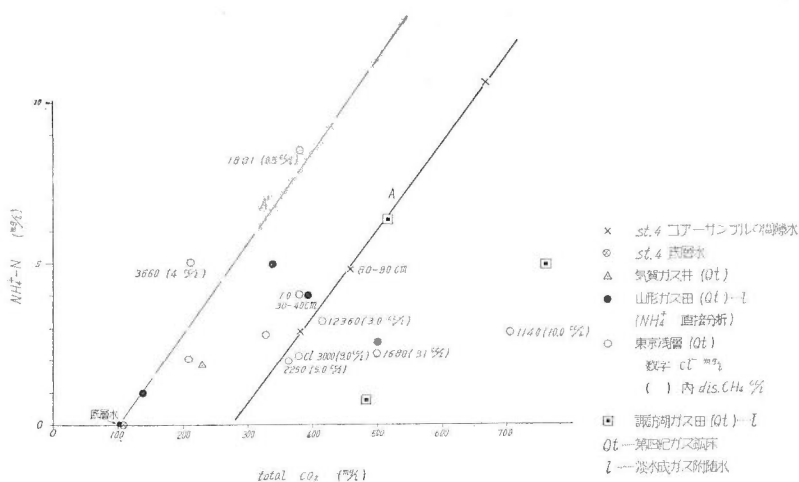
- 1) 深度約 5.5 m まで
- 2) 秋以外は N_2 100% 以上

第 13 図 高須賀沼 (淡水湖) 湖水中の成分関係図
(菅原健 1936 により集成)

第 13 図に菅原健による 1936 年観測の高須賀沼沼水中の total CO_2 と dis. O_2 、 dis. N_2 、 dis. CH_4 の関係を示す。これは淡水湖の資料であるが total $\text{CO}_2 > 35 \text{ cc/l}$ では $\text{dis. O}_2 = 0$ となり、 dis. N_2 は大略 11~17 cc/l ではほぼ一定である。しかし、 dis. CH_4 は図の A、A' 線間におち、total CO_2 100 cc/l では、 dis. CH_4 は大略 7~11 cc/l である。この図上に、浜名湖湖底質に関する第 12 図の線を記入すれば、同一 CO_2 量に対しては高須賀沼の例よりは CH_4 が大分少ない。このことは双方の深度差による値の差でないから、浜名湖についてはわれわれが 3 月に観測したために、泥温が低く、かつ湖水は循環季にあたつて CH_4 の発生と逸散が大きかつたためと考える。水深 5 m 附近における CH_4 の溶解度は大略 15 cc/l であり、高須賀沼の 14 cc/l はほぼこれに対応するので、図の B 線は大略飽和度 30% である。高須賀沼底泥の org. C は前述の通り約 6% であり、浜名湖 St. 4 は 1.6~1.9% であるが、total CO_2 は pH から考えて HCO_3^- が多いと思われるので、以上のように動的に考察をすゝめた。

第 14 図に示した total CO_2 と NH_4^+-N の関係をみると、St. 4 のコアサンプルに関しては図の A 線上へ並ぶ。わが国の第四紀ガス附随水の例を図上へ記入してみると、この A 線の両側へおちる。A 線を第 12 図にならつて、左へ total CO_2 100 mg/l だけ平行移動すると、山形ガス田・気賀ガス徴地などの測定値がほぼこの線の右下へおちる。すなわち概略的には、St. 4 における嫌気的分解作用は、ガス附随水中に保存される場合に較べて、同一 NH_4^+-N 量に対して、total CO_2 が少ないといえよう。すなわち NH_4^+-N の水中における濃縮が堆積初期に起こる可能性を示して、この点は上述した泥の C/N とそれに接触する間隙水の C/N の関係からも予期されたことがらである。

東京ガス田の浅層で $\text{Cl}^- = 1 \sim 12 \text{ g/l}$ 程度のガス附随水では、 dis. CH_4 量が多いほど、図の A、A' 線の右方すなわち total CO_2 が多くなる方向へゆく傾向がありそうである。すなわち、ガス附随水の立場から St. 4 の間隙水をみると、最も low potential の性格を示していると



第 14 図 浜名湖 St. 4 および 2, 3 のガス田における NH_4^+-N と total CO_2 との関係

いえよう。St. 4 における core 中の dis. O_2 はほとんど 0.3 cc/l 以下であるので、上記の状況でメタンガスなどの醗酵が行われていると考えられる。

前述した有機物の C/N に関連しては、その値の大きい泥炭、C/N 5~20 程度の湖泥などに分けて、それぞれメタンガスの生成という点から考察をすゝめるべきであるが、浜名湖は後者の例として処理できるところである。泥炭についての分解は目下研究をすゝめている。

南関東ガス田などにおいては、浅層、深層を通じてガス附随水の有機物による褐色の着色度が、きわめてよく Cl⁻ 量およびガスのあり方と関連する。この場合一般に Cl⁻ が $2,000 \text{ mg/l}$ を超えると着色しない。浜名湖の底泥については、小穴の報告に明らかなように、 H_2O 抽出試験にさいしての Cl⁻ に対する着色限界は次のようになる。

測 点	無色の最低Cl量 (g/l)	着色開始 Cl 量 (g/l)
St. 1	4.10	2.88
St. 2	6.56	2.52
St. 3	7.22	2.61
St. 4 (0—10cm)	2.56	1.24
〃 (10—20cm)	3.38	1.40
〃 (60—70cm)	1.05	0.73
〃 (100—110cm)	4.93	2.94

この結果から、地質時代の堆積物から溶出してくる場合も、浜名湖底泥を実験室中で H_2O 抽出する場合も大差がなく、 $1\sim 3 \text{ g/l}$ の Cl 量が大体の着色境界であることがわかる。この抽出試験においては、Cl の多い場合には C/N が大きく、小穴 (別報の第 11 図) によれば $\text{Cl} = 2 \text{ g/l}$ で、 $\text{org. C/N} = 20$ 、外挿によると $\text{Cl} = 0 \text{ g/l}$ で $\text{C/N} = 7\sim 8$ となり、底質の C/N の値に近づく。このことは、嫌氣的分解によつて生成された可溶性の N 化合物が段々になくなり、未分解の泥のなかの有機物が分析値として表われたものと解せる。

VII. 今後の問題

以上で浜名湖の現在における性状と、特に天然ガスに関連深い事項を説明したが、今後の問題点として気付く事項についての若干を以下に述べる。

1) CI 回帰の問題。

汽水域の有機質泥が、メタンガスを伴う分解を受ける場合に、泥（固体）、ガス（気体）、間隙水あるいはガス附随水（液体）間の有機物の質的、量的な動きを、CI を指標にして考えることが大切である。また、淡水への CI の拡散は、例えば気賀のガス井における観測値からも、地質時代をもつて論ずればきわめて早いことがわかる。そして CI の回帰よりも、有機物の分解逸出の方がはるかにおそいことも、上述したガス田の説明と底質の溶出試験などから明瞭である。したがって、CI を指標にして、ガス発生に伴う有機物の変化を追求することに徹底することが大切である。

2) 底質のガス質を研究する。

底泥中のガスはきわめて最近に生成されたはずであるから、そのガス質についてよく研究することが大切である。例えば、飽和あるいは不飽和の重炭化水素の存在有無、水素ガスの検討、酸素の問題などがある。この場合にはもちろん泥温、水深などの物理的条件とよく対応させること。

3) ガス量の検討。

小山¹⁾の研究のように、底質のある位置でもつているガス圧などからはいつて、さらに水溶性ガスとの比較をすゝめる。

4) 天然ガス鉱床と結びつけ易い成分、例えば水中の $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、炭酸類、pH、KMnO₄ 消費量、有機物、dis. O₂、dis. CH₄、dis. N₂、I⁻、Br⁻、HBO₂ などについて、徹底した分析研究を行う。

5) 石油、石炭の成因に結び付くような方針も必要である。筆者らは天然ガスの現世における生成の場として湖底、泥炭地を重視して研究をすゝめている。

6) このたびの観測では、湖水に対して相当な力をさいてしまったので、ガス鉱床と結び付ける重要な資料が少ない。さらに観測の機会を得たら、採泥器を改良して湖水との混合をさけつつ、底質に関するより確実な測定をすゝめたい。この場合には浜名湖中における県水産試験場の定点観測地点を、原則的には調査の測点とすべきであろう。

VIII. 結 言

浜名湖の地球化学および生物学的な共同・総合的研究にさいして、筆者らは地球化学部間を担当し、湖の現況を把握しつつ、湖底で起こっている嫌氣的有機物の分解状況の一端を知ることができた。今回は汽水湖における最初の研究であつたので、非常に多くの問題を提出することができて、一応第1期の研究目的は達せられたと考えられるが、さらに今後は観測着眼点を厳選して、メタンガスを中核とした第2期の研究に発展させうることが期待できる。

(昭和31年3月調査)
(昭和32年5月稿)

文 献

- 1) 朝比奈英三：汽水湖の底泥中に残溜する海水とそれが底棲動物に及ぼす影響，生態学研究，Vol. 8, No. 4, 1942
- 2) Carrigy, M. A.: Organic sedimentation in Warnbro Sound, western Australia, Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 26, No. 3, 1956
- 3) 地質調査所石油課：五城目油田岩石の分析結果，1951年調査，未公刊
- 4) 石和田靖章：本邦油田・ガス田における有孔虫化石の応用について，石油技術協会誌，Vol. 16, No. 6, 1951
- 5) 石和田靖章外2名：静岡県気賀町の天然ガスについて，地質調査所月報，Vol. 3, No. 12, 1952
- 6) 小山忠四郎：諏訪ガス田の資料，1952年調査，名古屋大学所蔵資料
- 7) 小山忠四郎：仁科三湖の底泥含有ガスに就いて，地球化学討論会講演要旨，1953年10月
- 8) Lipman, J. G., Brown, P. E. & Owen, J. L.: Zentralblatt für Bakteriologie, Abt. 2, 30, 1911
- 9) 牧 真一・中井信之：北海道石狩平野泥炭地地下水の垂直化学成分の2例について，日本化学会年会講演要旨，1957年4月
- 10) 本島公司：黒川油田 R-144号井コア試験について，石油技術協会誌，Vol. 20, No. 4, 1955
- 11) Nicol, A. T.: Ecology of a salt marsh, Jour. Mar. Biol. Assoc., N. S., 20, p. 203-261, 1935
- 12) 小穴進也・森田良美：油ヶ淵における異常中間水層の出現，陸水学雑誌，Vol. 16, No. 3-4, 1952
- 13) 西条八東：湖心堆積物に関する2, 3の知見，陸水学雑誌，Vol. 16, No. 3-4, 1952
- 14) 西条八東：湖沼における物質代謝の化学的研究，第4報，木崎湖，中綱湖，青木湖の沈澱現象に関する2, 3の考察，日本化学会誌，Vol. 77, No. 6, 1956
- 15) 西条八東・半谷高久：湖底堆積物の研究，第1報，本邦湖底堆積物中の有機成分，地理学評論，Vol. 26, No. 13, 1953
- 16) 西条八東外3名：湖沼堆積物の研究（第2報），茨城県中沼の新生沈澱物，地理学評論，Vol. 27, No. 2, 1954
- 17) 下河原達哉：茂原 R-3号井コア分析結果，地質調査所石油課資料，未公刊
- 18) 静岡県浜松測候所：浜名湖観測調査報告，第1報，1942年7月
- 19) 静岡県水産試験場：浜名湖分場時報，昭和27年度，第5号，1953
- 20) 静岡県水産試験場：浜名湖分場時報，昭和28年度，第1号，1953
- 21) 静岡県水産試験場：浜名湖分場時報，昭和30年度，第1号，1955
- 22) 菅原 健外5名：諏訪湖および東京湾の生産力調査研究，水産研究会報，No. 2, 1949
- 23) 菅原 健外：琵琶湖およびその周辺地域の地球科学的研究，学術月報別冊資料，No. 37 1952
- 24) Vinogradov, A. P.: Elementary Chemical Composition of Marine Organisms, 1953
- 25) 山本莊毅：湖底堆積物の酸素吸収量一特にそれと湖沼型との関係に就て—地理学評論，Vol. 18, No. 3, 1942
- 26) 吉村信吉・和田憲夫：湖底堆積物特に汽水湖の湖底堆積物中に含まれる硫化水素並に硫化物の予察的研究，陸水学雑誌，Vol. 8, No. 2, 1943
- 27) 吉村信吉：湖沼学，三省堂

STUDIES ON THE BRACKISH WATER

I. Geochemical Studies of Lake Hamana-ko

— On the Genesis of Natural Gas Accumulation —

By

Kōji MOTOJIMA & Shin'ichi MAKI

Abstract

Lake Hamana-ko is situated about 25 km west of Hamamatsu city, and is filled with the brackish water which contains about 5-17.5 g/l Cl. At the central part of this lake, the bottom water (deeper than 8 m) is in a perfect stagnant condition during summer times, and loses the dissolved oxygen.

In some natural gas fields of Japan, the writers recognized that the underground water associated with gas (so-called gas-water) contains a small amount of Cl ion (Cl < 50 mg/l), notwithstanding the primary depositional condition of the gas bearing formations.

When they study the natural gas accumulation geochemically, it is the first step for them to clarify the condition of methane formation in recent sediments and the present state of gas accumulation.

When they carry on the geochemical survey by the underground water analysis for gas fields, the suitable chemical indicators are such as pH, free CO₂, HCO₃⁻ or excess base, RpH, NH₄⁺-N, KMnO₄ consumption, dissolved oxygen, redox potential (redox P.), SO₄²⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, dissolved nitrogen etc.

Now they have two main objects for the lake observation, and one is to consider the movement of Cl in the interstitial water of bottom sediments, the other is to clear up the state of methane fermentation under the reduced environment using the above-mentioned ordinary chemical indicators.

Fig. 1 shows the observed stations and isobathyc lines. Variations of Cl, dis. O₂, temperature of lake water near St. 5 and St. 6 are shown in Figs. 3~6 and Tabs. 1~2.

Distributions of chemical components in NE-SW direction are shown in Fig. 7.

At the northern part of St. 2, they can notice the increase of organic carbon content and the decrease of ratio org. C/total N.

Typical and vertical distribution of chemical components at one station is shown in Fig. 8. In this figure, six important characteristics are as follows :

- (1) Cl····decreasing at the deeper part of core column
- (2) dis. O₂ in core column < 0.3 cc/l
- (3) dis. CH₄+N₂····increasing sharply at 0~30 cm core column
- (4) Water content····decreasing sharply at 0-50 cm core column
- (5) org. C/total N····discontinuity exists at the depth of 30 cm from the surface of sediments
- (6) NH₄⁺-N····increasing sharply at 10 cm core column

Thus, the writers compared the obtained data with those of natural gas accumulations, and then, discussed them from the geochemical point of view in this paper.

Principal problems are as follows :

- (1) The increase of CO₂ and dis. CH₄ in bottom sediments. This relation is shown in Fig. 12.
- (2) Comparison of the data of Fig. 12 and of Takasuga-numa is shown in Fig. 13. At Takasuga-numa, high CH₄ content is observed comparing with Lake Hamana-ko.

- (3) Relation between total CO_2 and $\text{NH}_4^+\text{—N}$ in the interstitial water is shown by A'line in Fig. 14. The points denoted gas-water from quaternary gas fields are plotted in the area under A'line. This fact shows that organic nitrogen is easily destructive and transformed rapidly into $\text{NH}_4^+\text{—N}$ at the first stage of deposition in the lake bottom. This is also supported by the occurrence of discontinuity in ratio org. C/total N at the depth of 30 cm from the surface of sediments.

Thus, they can clear up a part of the formation process of hydrocarbon in recent sediments using the quantitative relations of important chemical components.

The Geological Survey of Japan has published in the past several kinds of reports such as the Memoirs, the Bulletin, and the Report of the Geological Survey.

Hereafter, all reports will be published exclusively in the Reports of the Geological Survey of Japan. The Report will be consecutive to the numbers of the Report of the Imperial Geological Survey of Japan hitherto published. As a general rule, each issue of the Report will have one number, and for convenience's sake, the following classification according to the field of interest will be indicated on each Report.

- A. Geology & allied sciences
 - a. Geology
 - b. Petrology and Mineralogy
 - c. Paleontology
 - d. Volcanology and Hot Spring
 - e. Geophysics
 - f. Geochemistry
- B. Applied geology
 - a. Ore deposits
 - b. Coal
 - c. Petroleum and Natural gas
 - d. Underground water
 - e. Agricultural geology
Engineering geology
 - f. Physical prospecting,
Chemical prospecting & Boring
- C. Miscellaneous
- D. Annual Report of Progress

Note: In addition to the regularly printed Reports, the Geological Survey is newly going to circulate "Bulletin of the Geological Survey of Japan", which will be published monthly commencing in July 1950.

本所刊行の報文類の種目には従来地質要報・地質調査所報告等があつたが、今後はすべて刊行する報文は地質調査所報告に改めることとし、その番号は従来の地質調査所報告を追つて附けることにする。そして報告は1報文につき報告1冊を原則とし、その分類の便宜のために次の如くアルファベットによる略号を附けることにする。

- A 地質およびその基礎科学に関するもの
 - a. 地質
 - b. 岩石・鉱物
 - c. 古生物
 - d. 火山・温泉
 - e. 地球物理
 - f. 地球化学
- B 応用地質に関するもの
 - a. 鉱床
 - b. 石炭
 - c. 石油・天然ガス
 - d. 地下水
 - e. 農林地質・土木地質
 - f. 物理探鉱・化学探鉱および試錐
- C その他
- D 事業報告

なお刊行する報文以外に、当分の間報文を謄写して配布したものに地下資源調査所速報があつたが、今後は地質調査所月報として第1号より刊行する。

昭和33年6月25日印刷
昭和33年6月28日発行

工業技術院
地質調査所

印刷者 向 喜久雄
印刷所 一ツ橋印刷株式会社
附図印刷 熊谷印刷株式会社

A. f. I.

REPORT No. 178

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Katsu KANEKO, Director

STUDIES ON THE BRACKISH WATER

I. GEOCHEMICAL STUDIES OF LAKE HAMANA-KO

— ON THE GENESIS OF NATURAL GAS ACCUMULATION —

By

Kōji MOTOJIMA & Shin'ichi MAKI

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Hisamoto-chō, Kawasaki-shi, Japan

1958

地質調報
Rept. Geol. Surv. J.
No. 178, 1958