

加茂湖における水質および底質の季節変化

永 原 正 信

A Study on the Seasonal Variations of Some Properties of the Waters and Bottom of Lake Kamo

MASANOBU NAGAHARA

Abstract

Investigation was made on the seasonal variations in some properties of the water as well as the bottom substances such as chlorine, phosphate-P, and ammonia-N etc., as a part of the production research of Lake Kamo in the Sado Island, Niigata prefecture during 1965 and 1966.

The results obtained are as follows:-

- 1) The bottom surface of the lake is covered with silty sediments.
- 2) The minimum temperature of the waters for 0 meter and 5 meter depths are observed in January and the maximum in August. The temperature of the surface layer is lower than that of the 5 meter depth layer from September to March, but little differences of the temperatures between the two layers are noticed in the other months.
- 3) The chlorinity of the surface layer varied considerably due to the rainfall, but this rainfall did not effect the 5 meter depth layer.
- 4) The contents of phosphate-P fall between December and April for both layers of 0 and 5 meters.
- 5) The contents of ammonia-N fluctuate directly proportionally with the seasonal variations of phosphate-P.
- 6) The seasonal changes of the silicate contents are inversely proportional to the chlorinity variations.
- 7) The contents of phosphate-P and ammonia-N etc. became higher in 1966 than the proceeding year, probably suggesting the successive desolation of this lake.
- 8) The hydrographical features of lake Kamo is greatly affected by weather as well as the land water such as sewage and drainage, and not so much by the ocean conditions, because the entrance of the lake is not only shallow but very narrow.
- 9) From the results mentioned above, obviously this lake can be used excessively for oyster culture; this is an urgent problem.

I. ま え が き

加茂湖は、新潟県佐渡の両津湾奥に位置し、その面積は 4.86 平方キロメートルで、古くから

新潟県における唯一のカキ養殖場として重要視されてきた。近年カキ養殖筏の台数増加や両津市街地からの流入水の影響等によつて、カキ養殖の生産高は減少の傾向にある。こうした現象はひとり加茂湖だけではなく、他の多くの内湾養殖場においても一般に認められ、“漁場の老化”とよばれている。新潟県当局においては、1965年から国費の援助を得て、浅海漁場開発事業の一環として加茂湖の本格的な調査を開始した。

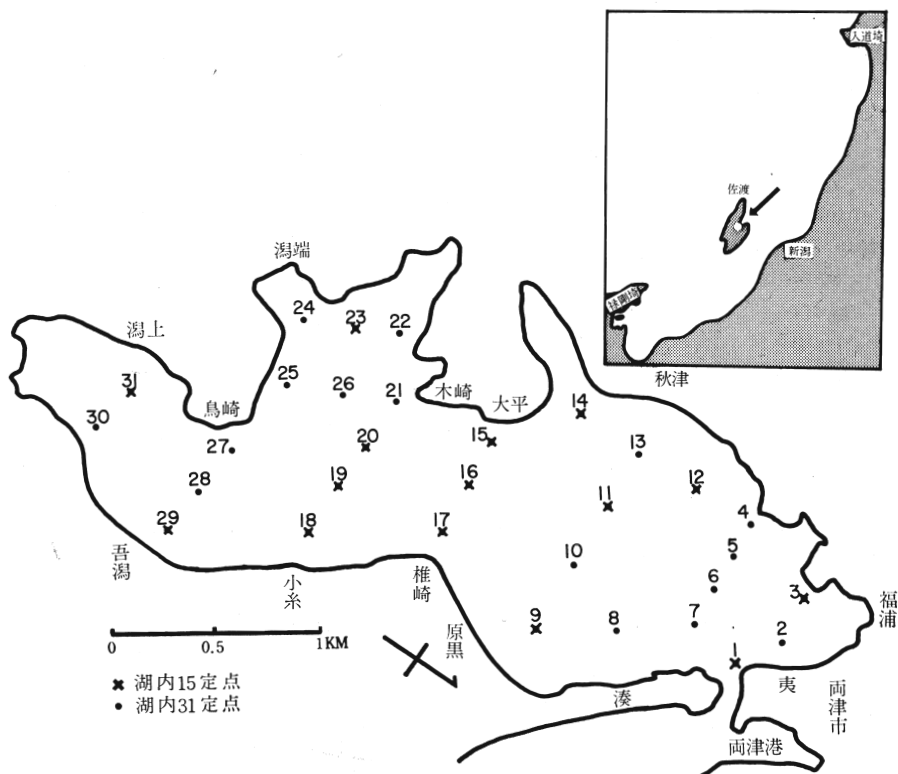
著者はこの調査に参加する機会を得て、カキ養殖場の環境としての水質および底質の調査を担当したので報告する。

本文に入るに先だち、懇切なるご指導と本報のご校閲を賜つた日本海区水産研究所前所長谷田専治博士、開発部長藪田洋一博士、ならびに本調査に際し全面的ご協力をいただいた、新潟県水産試験場佐渡分場長坂井英世技師と職員の方々に対し厚くお礼申し上げる。また、水質分析および図表作成に当られた長沢トシ子技官の労に対して感謝する。

II. 調査方法

1965年4月から6月までは湖内に15定点、それ以降1967年2月までは31定点（第1図）を設け、毎月各定点で测温、採水および底棲生物、浮遊生物などの採取を行つた。そのほか1965年7月、9月および1966年3月には採泥をも実施した。

これらの採集は主として新潟水試佐渡分場で実施し、当水研に送付してもらつた後で分析し



第1図 観測点図

た。そのうち1965年7月、9月、1966年3月、8月の4回には当水研から現地に出向して共同調査を行った。

測温には電気水温計を、採水には坂井式採水器（坂井、1961）を、採泥にはエクマンバージ採泥器をそれぞれ使用した。なお、水温測定および採水は表面と5mの2層について実施した。

試水には採水直後にクロロホルムを添加して研究所に送付してもらい、分析までの期間は冷蔵庫内で約5°Cのもとに保存した。

定量分析は塩素量、Phosphate-P、Ammonia-N、Silicate-Siについて実施し、塩素量分析にはサリノメータと硝酸銀滴定法とを併用し、その他の栄養塩類の分析は、海洋観測指針に示された方法を用いた。

泥については、研究所内で約-15°Cで凍結保存しておき、全硫化物と灼熱減量について定量した。全硫化物の定量には松江（1965）の方法を用いた。灼熱減量は、泥3gを電気炉で約800°Cで焼いてその間の減量を測定した。

Ⅲ. 調 査 結 果

湖内の定点数は多いが、各点における水質の変化傾向はよく類似しているのので、代表点5点を選び、その季節的变化を図示することにした。

1. 水 質

1) 水 温

各定点における水温は付図1に示すような季節変化を示し、その変化傾向は1965年、1966年ともよく類似していた。各層別水温の月変化をみると、1月には最低値、8月には最高値を示し、気温の変化傾向（付図1）とよく対応している。しかし、詳細に検討すると、7月に一時水温が下降あるいは上昇停滞していること、および1月に定点間で約2°C内外の水温差が認められる場合のあることなどが注目される。表層と5m層との水温差についてみると9月～3月の間には表層水温は5m層より低く、その差は最大5°C位を示す。このことは季節風の連吹によつて表層水温が極度に低下することに起因しよう。一方、4月～9月に表層水温は5m層より逆に数度高くなり、各層の水温が最高となる7月～9月には両層の水温差はほとんどみられなくなる。水温最低期に当る1月における表層と5m層との水温差を1966年と1967年の両年について比較してみると、両者の差は1967年には1966年より大きく、約8°Cとなつている。しかし、両津湾における両層の水温差をみると最高で約2°Cと加茂湖水の場合より小さく、また、水温最低期もそれより1～2カ月おそく、2～3月にあらわれている。このような現象は気象条件によつて大きく支配される加茂湖水と、対馬暖流の影響を受けて比較的安定している両津湾水との性状の差を示すものであろう。

2) 塩 素 量

表層における塩素量をみると、付図2に示すように、1965年は5月、8月、10月に高く、7月、9月、12月に低い値を示している。このように表層が低かんとなる月は付図3に示す降雨量の多い月と一致している。また、定点1、3では6月にも16%に近い値を示し他の定点と異つているが、これは干満による両津湾水の影響によるものであると考えられる。

5m層についてみると、1965・1966の両年を通して年間16%以上であり、季節変化は少ないが、12月を中心にして一つの谷が現われている。これは降雨量などによる表層の塩素量変化が

5 m層にもやや影響していることを示唆していよう。いずれにしても、塩素量の季節的变化は5 m層ではほとんど無視できる程度のものであり、表層に近いほど季節変化が著しいといえる。また、兩年の季節変化をみると、その傾向はやや一致しているが、高低を示す月には若干のズレが認められる。これらの現象は前述の降雨量の影響によるものであつて、さして大きな問題ではないと考えられる。なお、1966年における両津湾における塩素量の季節変化をみると(付図2)、表層および5 m層ともに年間18%以上を示し変化も少ない。このような現象は加茂湖とまったく対照的である。

3) Phosphate-P

1965年には表層および5 m層ともに8月~10月に最高を示し、12月以降、1966年4月ごろにかけて最低を示している。表層については各定点における季節変化の様相はほぼ一致するけれども、5 m層で定点1・3, 4~8, 12~14, 15以上の4グループにわけられるようである。すなわち、5 m層についてみると、定点1・3では6・7月に一つのピークがあり、定点4~8では、7月以降12月までなめらかに漸減し、定点12~14では7月に一つのピークが、定点15以上では前2型の平均型を示している。また、1965年と1966年を比較すると、表層で定点1~7, 11~12において、1965年より1カ月おそく10月に最高を示している。

季節的な傾向にはそれ程の変化は認められないが、含有量については相当な変化がある。すなわち、1966年においては5 m層で7月から急激に高くなり、最高期の9月では定点によつては1965年の2倍以上の含有量もみられた。全体的には、1966年の含有量は高く、かつその変化も大きい。

また、1962~1963・1965~1966年の含有量の年変動は第1表に示すようになる。この値は分

第1表 Phosphate-Pの年変化(単位 $\mu\text{g-atoms/L}$)

年	st 1	st 2	st 3	st 4
1962	0.056	0.063	0.077	0.098
1963	0.792	1.002	1.493	0.955
1965	0.298	0.412(st 10)	0.412(st 16)	0.316(st 28)
1966	0.444	0.221(st 10)	0.980(st 16)	1.020(st 28)

(佐渡分場 1962~1963)

析方法が異なるので直接比較することには問題もあるが、1963年には一時的に高い値を示していた。この現象の原因については明らかでないが、これを特異なものとして除外すれば全体的にみて年々増加の傾向を示していることは注目に値することである。このような変化の原因の一つには市街地からの汚水の流入が考えられるので、ミリポアフィルターを使用して検討してみた。

その方法は加茂湖試水を定常どおりPhosphate-Pの定量を行ない、次に同試水を新たにとり、

第2表 試水中の各Pの含有量(単位 $\mu\text{g-atoms/L}$)

	Phosphate-P	Organic-P	Total-P
A	0.16	0.30	0.460
B	0.16	0.03	0.192

A 試水中の各濃度

B 試水をミリポアフィルターで濾過した後の各濃度

HClO_4 を添加して、加熱分解し、 NaOH で中和してTotal-Pを定量した。また、同試水を 0.45μ のミリポアフィルターで濾過して、ある程度の有機性微細物を除いた後、同順序で加熱分解後、測定したものをTotal-Pとした。両者の

Phosphate-PとTotal-Pの差をOrganic-Pとした。この結果は第2表に示す。表によると、加茂湖水の有機性物質を除くことによつて、Organic-Pの値は $0.3\sim 0.03\mu\text{g-atoms/L}$ に減少する。この差はかなり大きなもので、Total-Pの65%にも相当し、Phosphate-Pの量的な季節変化と密接な関係にあるものと推察される。なお、加茂湖水と対称的に有機物の少ない両津湾内水（両津港外部）では、年間をとおしてPhosphate-Pの季節変化は加茂湖に比べて少なくなつてゐる。

4) Ammonia-N

1965年におけるAmmonia-Nの月変化は各定点とも大体一致し、表層と5 m層との差も少ない。しかし、5 m層について全体的にみると、定点1～15までの湖口側では、定点16～31の奥部に比べて変化が大きいようである。特に定点1, 3, 12, 14では5月, 7月に $30\mu\text{g-atoms/L}$ 以上の値を示すこと、月変化は少ないながらも6月, 7月を中心にやや高いことなどが認められる。また、1966年についてみると、定点1～14までは1965年と類以して7月に高くなつてゐるが、定点16～31においては1965年にみられなかつた $30\mu\text{g-atoms/L}$ を越える含有量を示す定点が多く現われてきている。このように含有量が1965年より1966年に高いことは、Phosphate-Pの場合とまったく一致している。このような変化は谷田・奥田、(1957)が指摘しているように河川水より、むしろ陸水（汚水・排水）からの有機物、またはカキ貝の排泄物が海底土中で分解され、漸次無機態の化合物となつて湖水に溶離されるためではないかと考えられる。

5) Silicate-Si

Siの季節変化は大きく、その度合は表層で著しく、5 m層では比較的少ない。この様相は塩素量の季節変化（付図2）とよく対応している。すなわち、表層の塩素量は降雨量に反比例したが、Siの場合は正比例しているとみることが出来る。いいかえれば塩素量とSiは反比例の関係にあり、この三者は互に関連し合つてゐることがわかる。これまで代表的な5定点における表層と5 m層の2層の水質について月変化をみてきたが、これらを水平分布図として示すと付図7～9のようになる。なお、Siについては、塩素量の高い所が低いとみることが出来るので図示しなかつた。これらの付図は潮の干満、気象、河川廃水等の流入位置や量によつてかなり変化するであろうから、参考までに図示するものであり、特に説明は加えない。

2. 底 質

1) 全 硫 化 物

1965年7月と1966年3月の硫化物を図示すると、付図10A, Bのようになる。図から、福浦、秋津、小糸～湊沿岸に高い傾向がみられるが、含有量としては3月の方が一般に高い値を示すようである。

2) 灼 熱 減 量

付図11A, Bに1965年7月, 1966年3月の結果を示す。福浦、原黒～湊沿岸で低い値を示すほかは全硫化物の分布図によく以てゐる。また両月の間には大きな差はみられない。

3) 粒 土 組 成

湿泥20gを30, 60, 115の各メッシュの金属フィルで流水濾過し、各段階での残存量を%で示すと付図12のようになり、底質は微細泥で全域がおおわれているといえる。115メッシュでの残存量からみると、両津、湊等の湖口両側に多い。また、灼熱減量と微泥との相関は見出せなかつた。

IV. 考 察

以上の結果から総合して付図13A, B, C図を作成して考察してみる。加茂湖水は量的には少ないながら、干潮時には相当な流速で湾外へ排出し、排出された湖内は防波堤に当つて、対馬暖流系の両津湾水と接触し混合すると考えられる。しかし、両者の密度の関係から容易には混合されず一種の不連続線を形成する。この不連続線と両津沿岸との間に、外洋水と加茂湖水との混合水帯が形成され、次の満潮時には再度加茂湖に流入する。したがつて、これは純然たる暖流水ではないけれども、加茂湖水より密度が高く、表層よりむしろ、下層に潜入することも知られているので（佐渡分場調査）、加茂湖にはいくつかの水系（付図13A, B, C）の存在することが考えられる。このために定点1～15までの湖口側において水質の季節変化が特に著しくあらわれたものであろう。

次に加茂湖の底質についてみると、前述（付図12参照）のように、加茂湖は湖口付近とst.25を除く他は90%以上のシルト（115メッシュ）である。このため湖底泥は黒色で、かなりの悪臭が感じられる。三位（1966）の報告によれば硫化水素臭と考へてもよいようである。このような悪臭が、加茂湖全域で感じられることは多くの問題を含んでいるけれども、最大の原因としては湖水の水平移動が少ないことにあつて考へる。また、このように沈滞した加茂湖では、ますます、シルト区域が多くなることが予想され、現在湖口付近に多少みられるアマモ植物も、現状が続く限り次第に減少してゆくものと考えられる。

加茂湖の地形は第1図に示したように、湖口が狭く浅いこと、奥行きが深いこと、最大水深は湖口に比べて大きく約6 m位であることなどが大きな特徴である。また、日本海の干満差は少なく、佐渡では20cm位であり、狭い湖口を通しての流出量は少ないため、湖口近くの水は両津湾内の外洋水と関連するが、湖口からはなれるほど外洋水の影響の少なくなることが容易に考えられる。また、既述のような水質の季節変化をみると、その要因には気温、雨量、風力等の気象が全般に大きく影響していることが明りようにかえる。

第2の要因には、住居や水産加工業からの汚水、廃水があげられ、外洋水の影響が少ない加茂湖の汚れを一層促進している。

第3にはカキ養殖による老廃物の蓄積が考えられる。このように考へると、加茂湖は現状を維持する限りにおいては、1965年から1966年について調査した結果からも、徐々に汚れがひどくなり、その生産力は年を追つて低下するものと予測される。また、現在他の研究者によつて、プランクトン、底棲生物、付着生物等についても検討が行なわれているので、これらの結果とあいまつてかなり明りような結論が出るものと期待される。いずれにしても水質の季節変化からみる限りにおいては、湖内の流動はわるく、水の交換の少ないことや、廃水の影響もあり、さらに老廃物の増加傾向も認められたので、生産性向上のためには早急に抜本的な対策をたてる必要がある。

V. 要 約

加茂湖における生産力研究の一部として水質（塩素量、Phosphate-P, Ammonia-Nなど）の季節変化および底質を調査した。得られた結果は下記のとおりである。

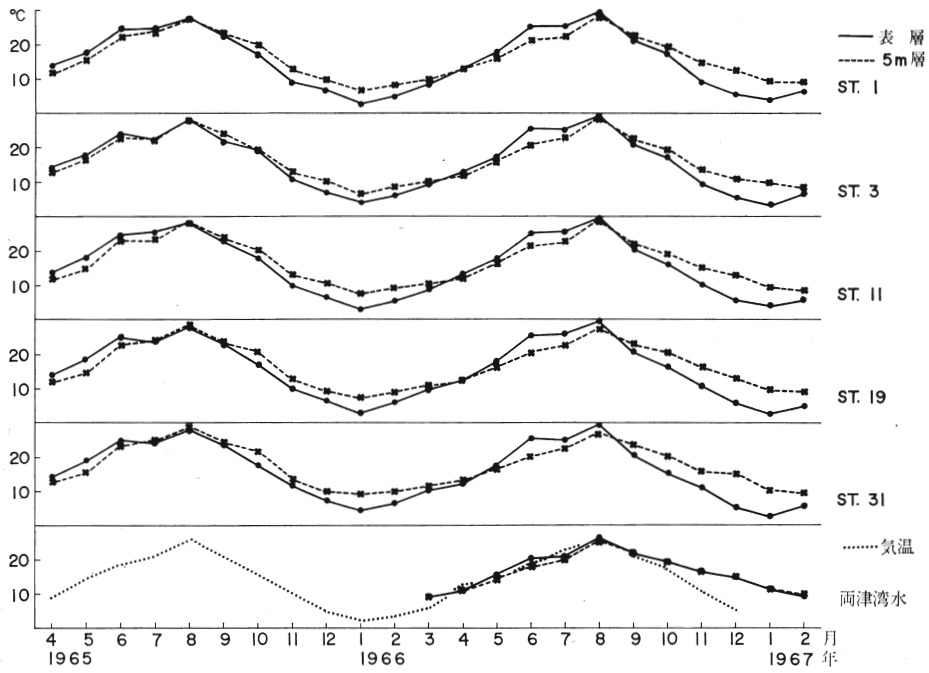
1. 湖底は微泥におおわれている。
2. 表層および5 m層の最底水温は1月に、最高は8月にみとめられる。9月から3月にかけて

て表層水温は5 m層より低くなるが、その他の月は2層間の温度差は少ない。

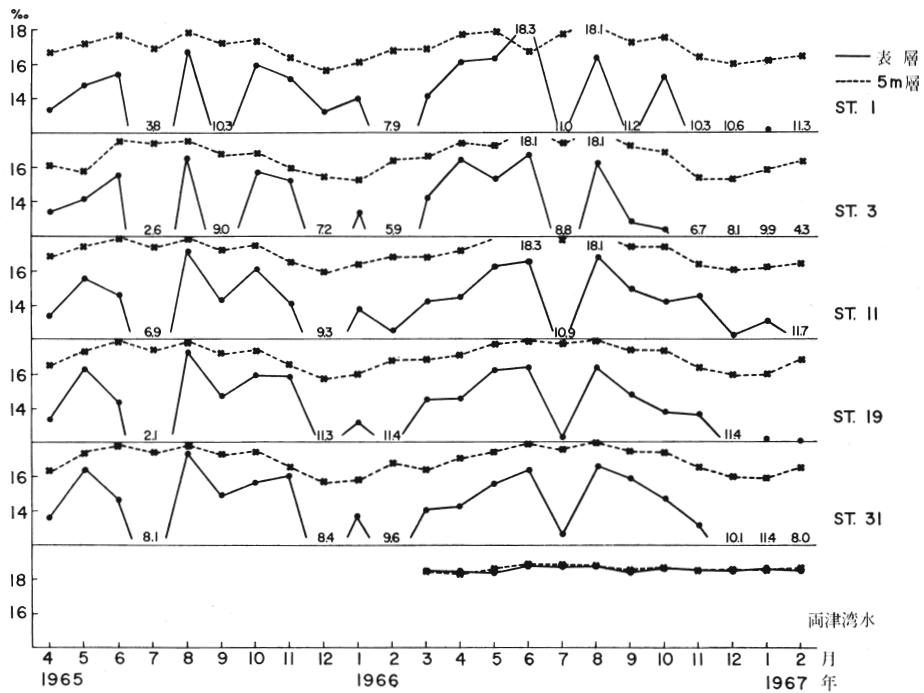
3. 表層の塩素量は降雨量に比例して変化する。しかし、5 m層では降雨量の影響はきわめて少ない。
4. phosphate-Pの含有量は表層、5 m層ともに12月～4月にかけて下降する。
5. Ammonia-Nの含有量はPhosphate-Pの季節変化に比例している。
6. Silicate-Siの含有量の季節変化は塩素量と逆比例する。
7. 1965年、1966年についてみると、P、N等の含有量は明らかに1966年に高くなり、老化の進んでいることを示した。
8. 加茂湖の水は、湖口が浅く狭いため、外洋水の影響を受けることは少なく、風または陸水（汚水、排水）によって影響される所が大きい。
9. 加茂湖が現状で推移する限り、生産力は年々低下することが予測されるので、早急に対策をたてる必要があると考えられる。

引 用 文 献

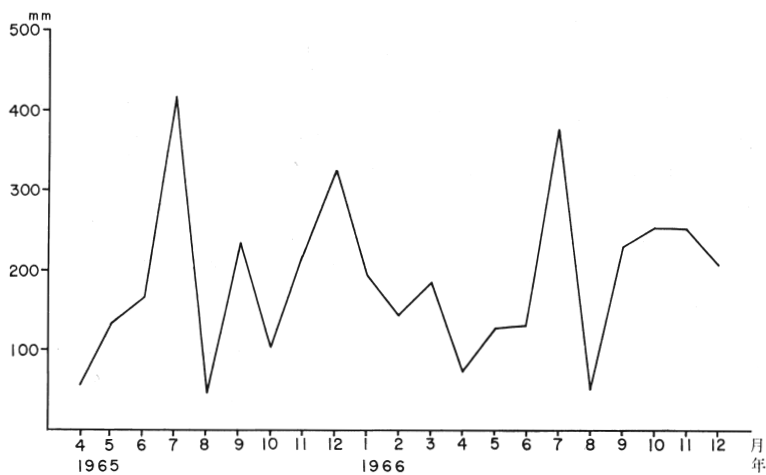
- 松江吉行(1965). 水質汚濁調査指針. : 183
- 三位秀夫(1966). 松川浦付近の底質. 松川浦浅海漁場開発事業調査中間報告書. : 173, 175.
- 新潟水試佐渡分場(1963~1964). 加茂湖水質調査表(ガリ刷).
- 農林気象(1965~1966). 新潟県農林気象連絡会.
- 坂井英世(1961). 坂井式採水器. 水産増殖19, (1): 51.
- 谷田専治・奥田泰造(1957). 松島湾の水質資源に関する基礎研究, 水質底質並に底棲生物の季節遷移. 東北水研報告, (6): 113.



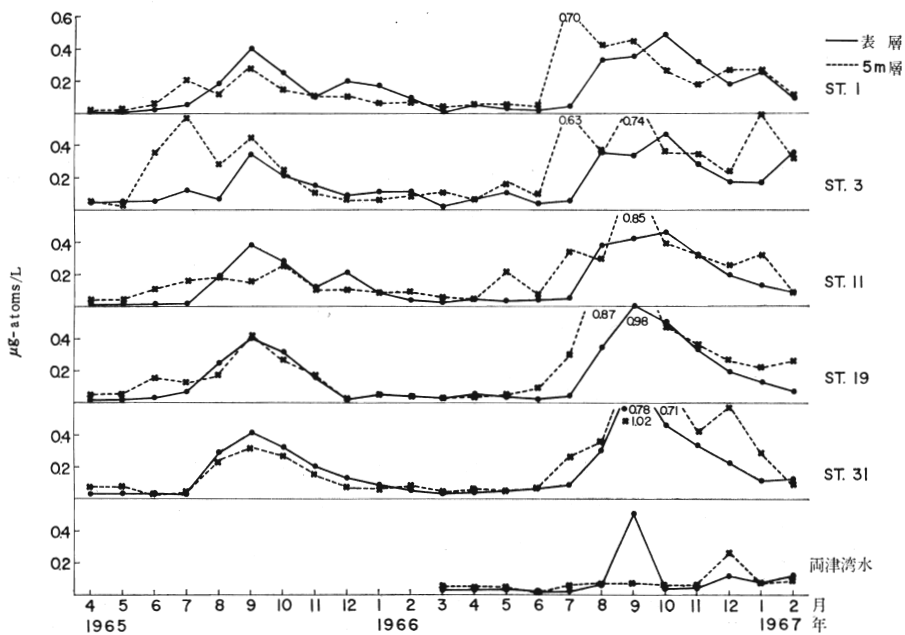
付図1 水温の季節変化



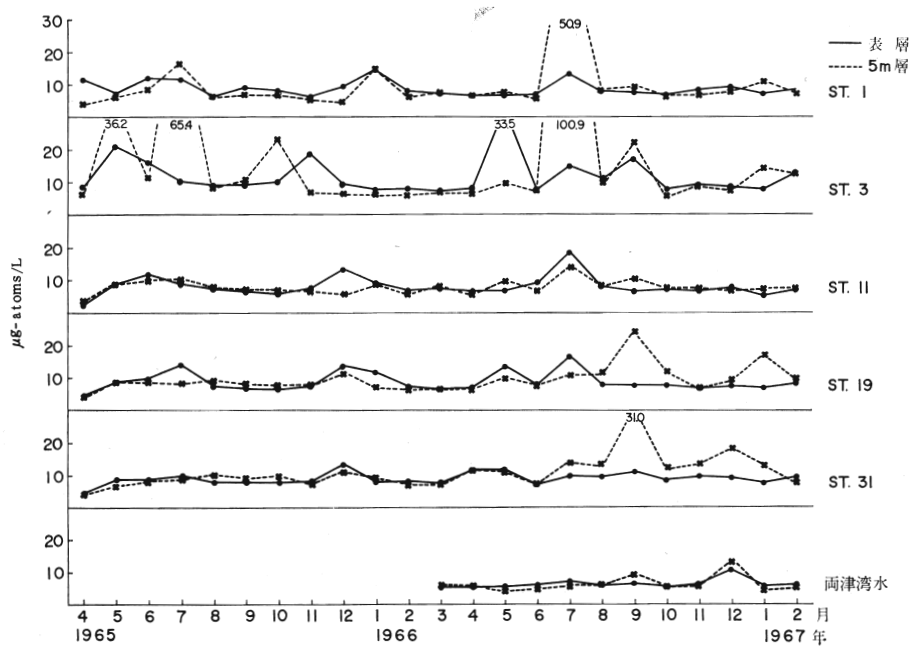
付図2 塩素量の季節変化



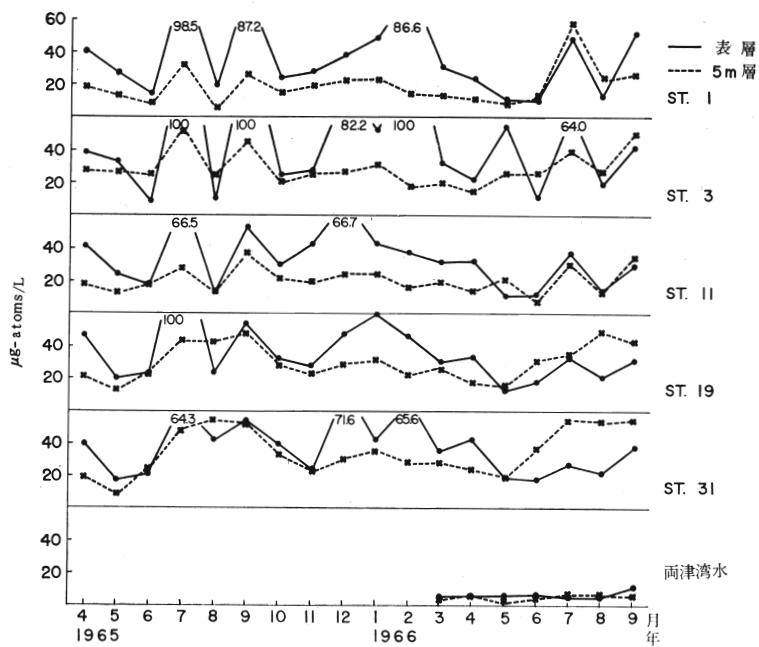
付図3 両津市における総降雨量の季節的变化



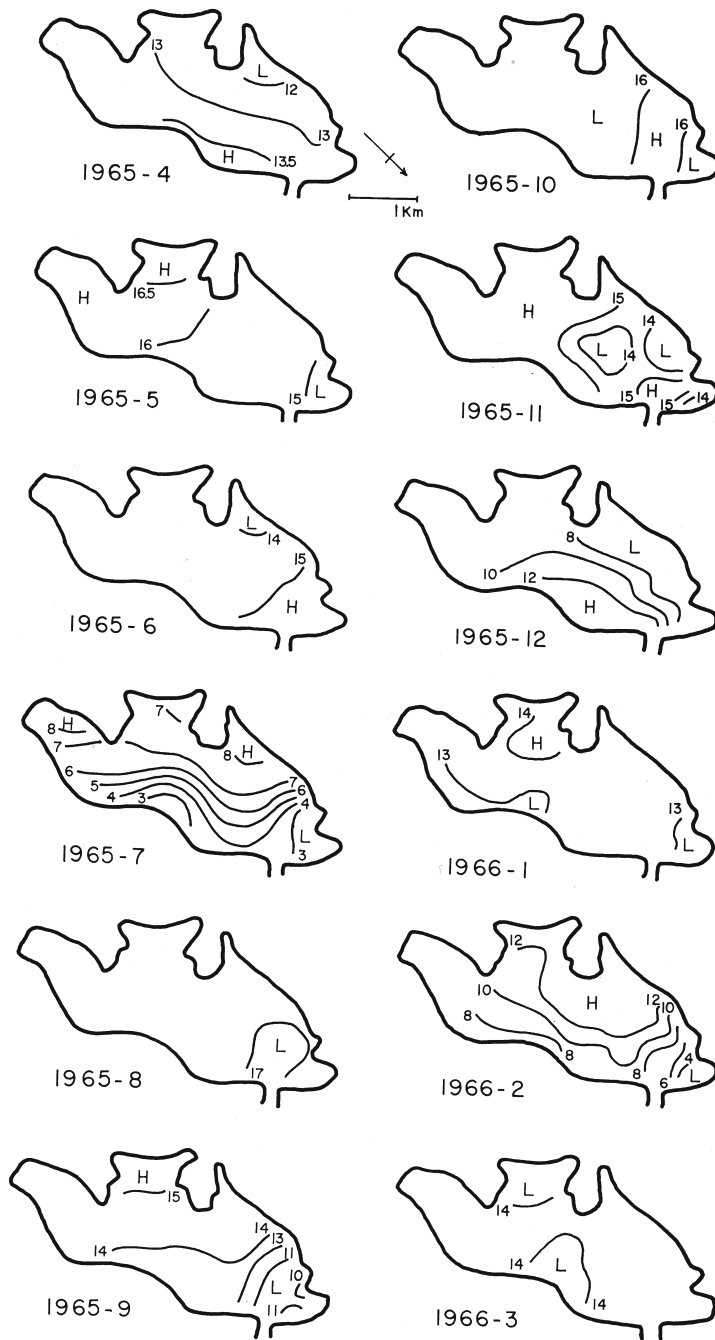
付図4 Phosphate-P の季節变化



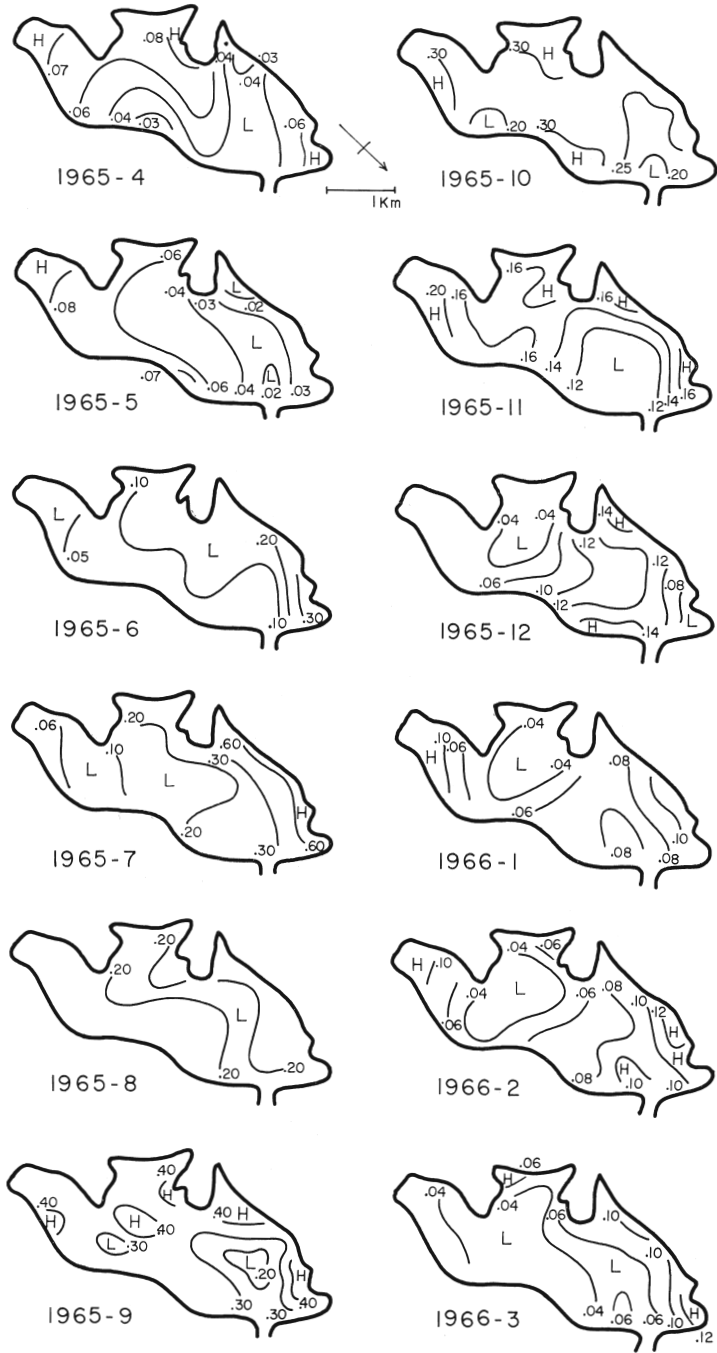
付図5 Ammonia-N の季節変化



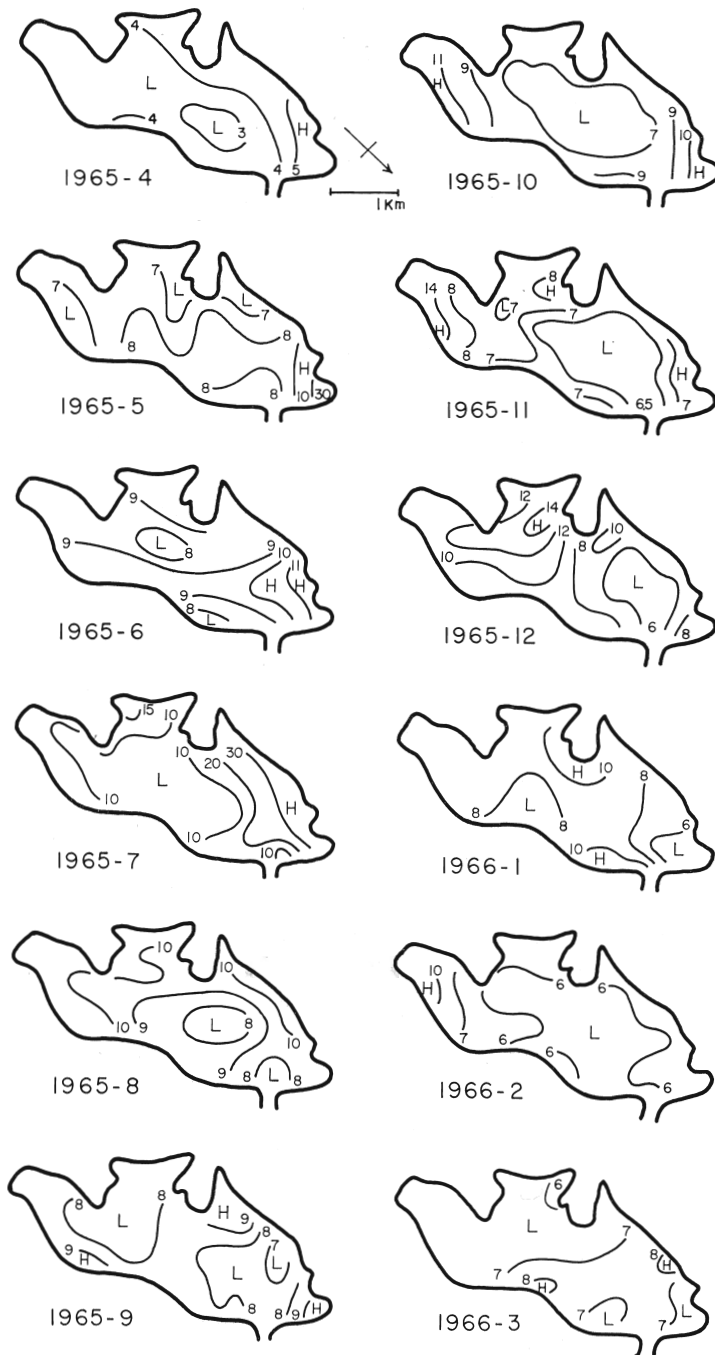
付図6 Silicate-Si の季節変化



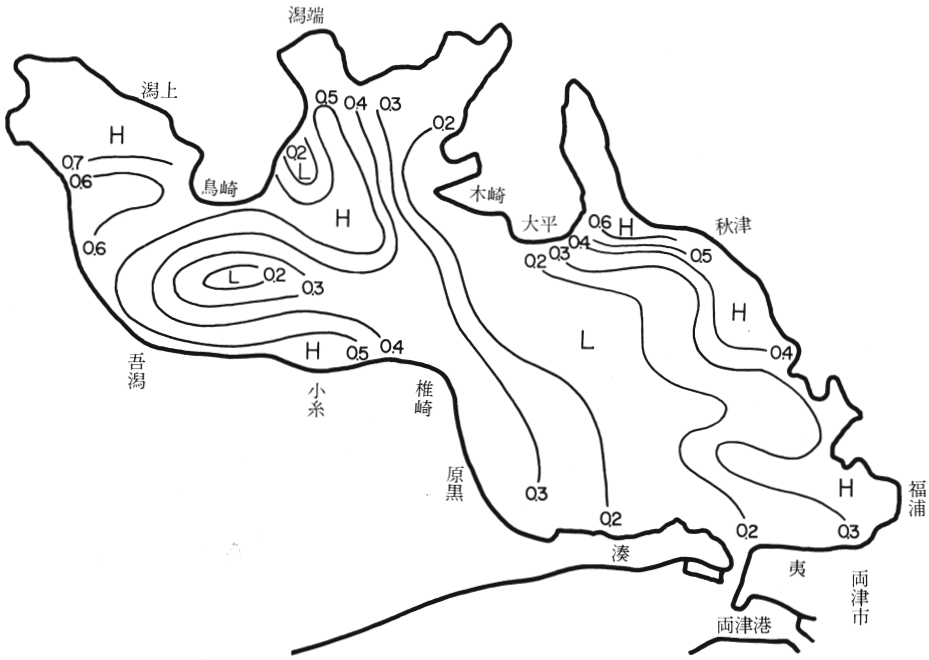
付図7 表層塩素量 ‰



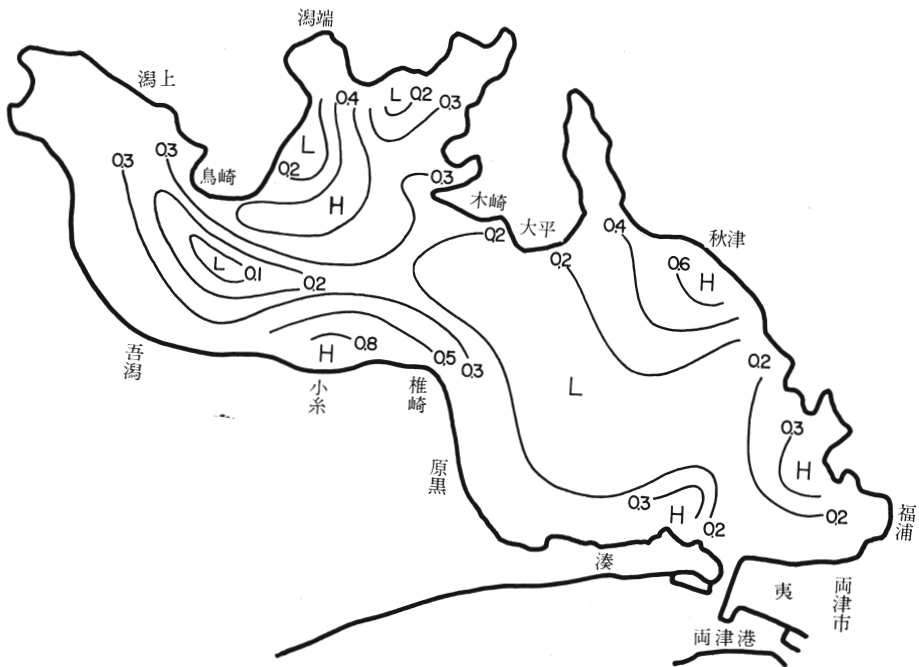
付图8 5 m 層 Phosphate-P $\mu\text{g-atoms/L}$



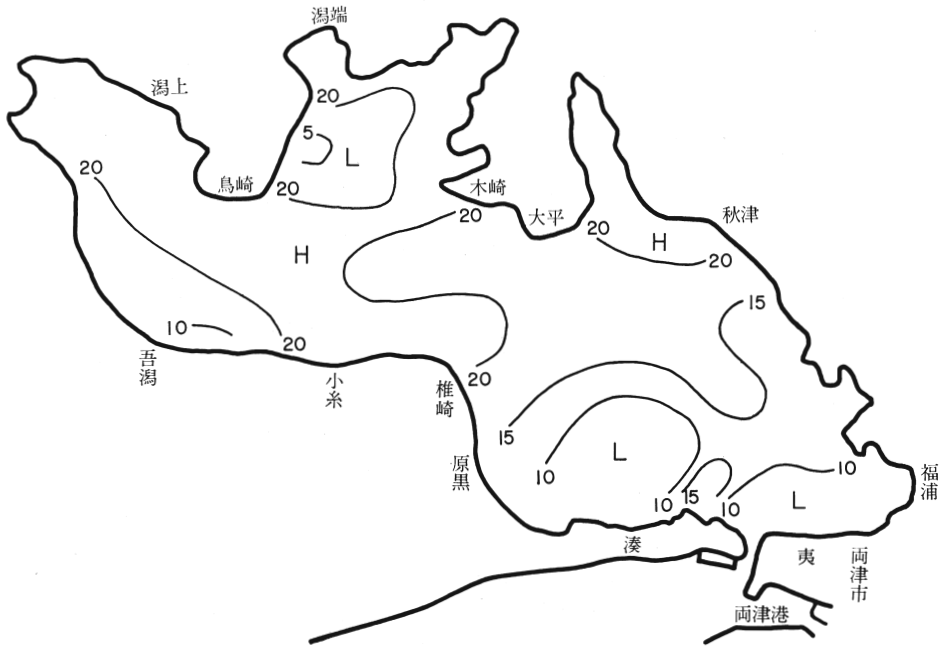
付図9 5 m層 Ammonia-N $\mu\text{g-atoms/L}$



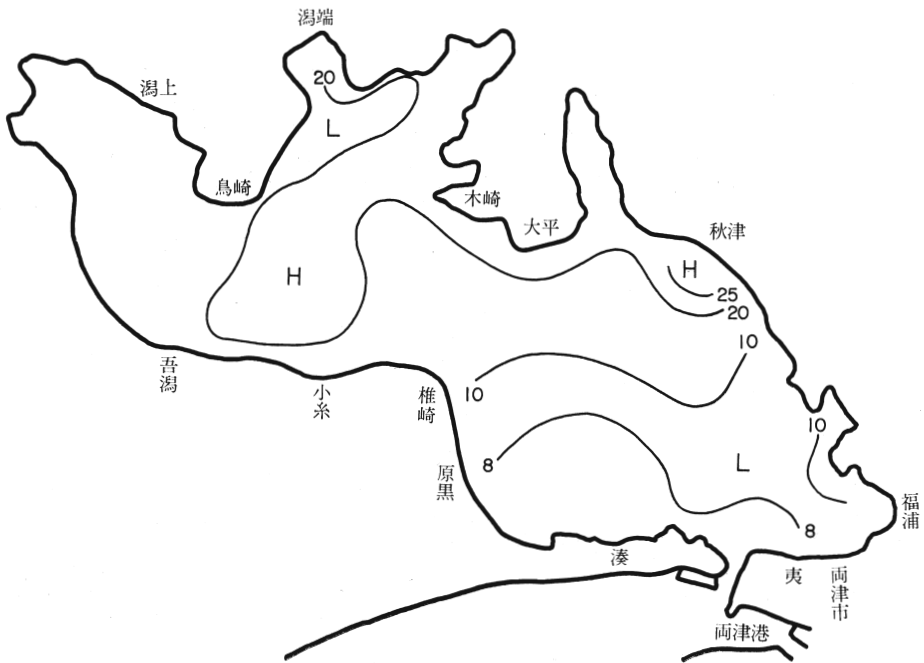
付図10A 湖泥全硫化物 mg/g 1965年7月



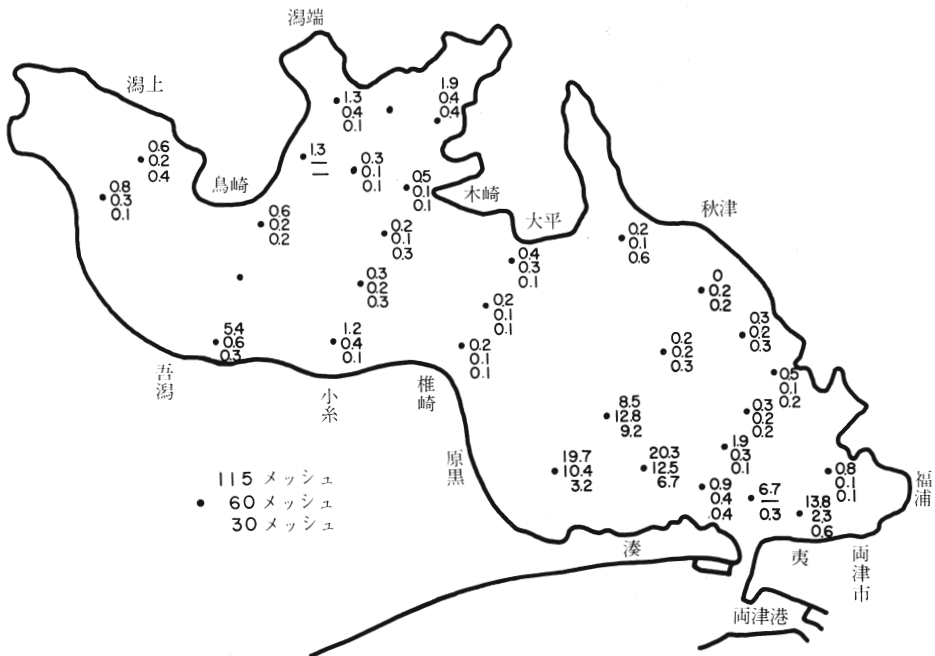
付図10B 湖泥全硫化物 mg/g 1966年3月



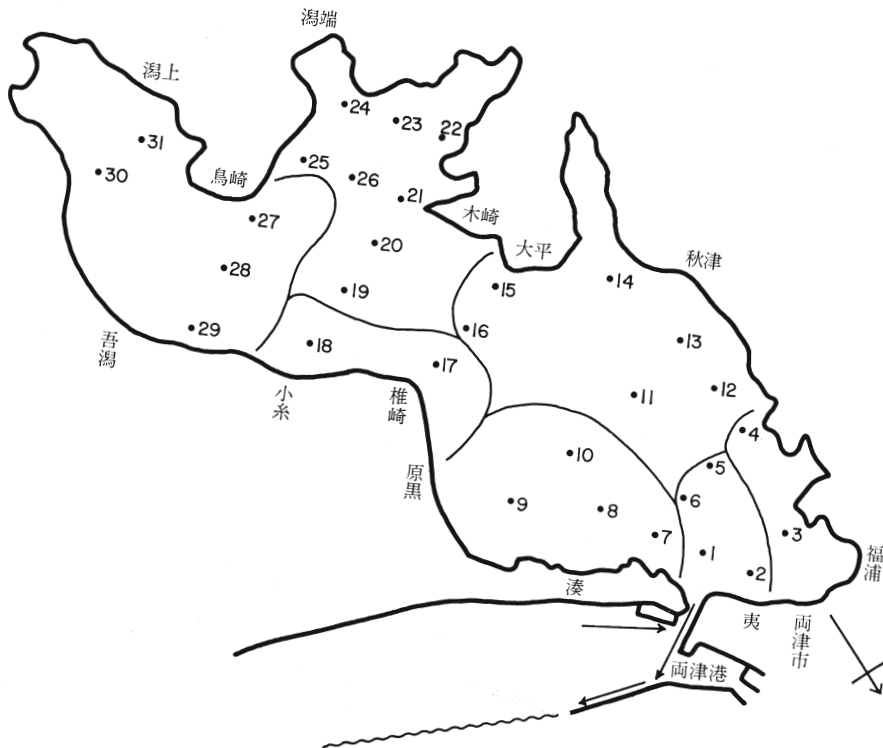
付図11A 灼熱減量 % 1965年7月



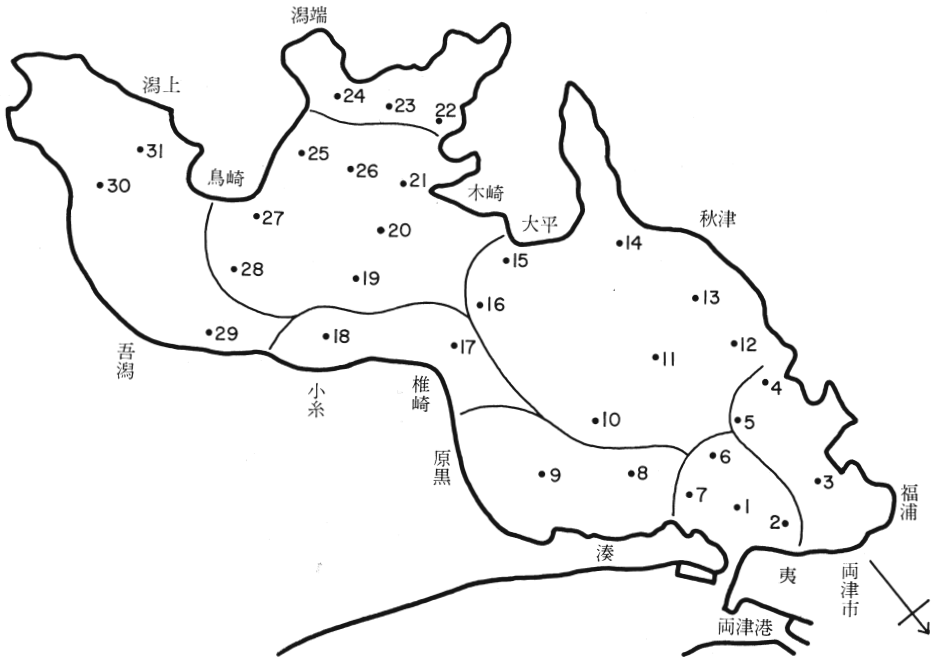
付図11B 灼熱減量 % 1966年3月



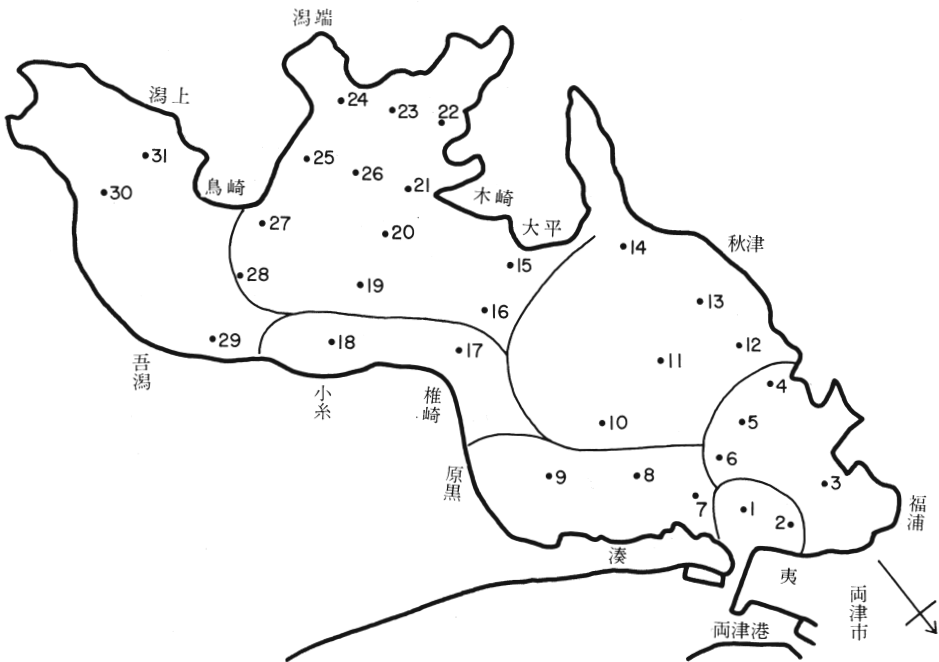
付図12 粒土組成 %



付図13A 塩素量季節変化の湖内区分模式図 (1966年)



付図13B Phosphate-P 季節変化の湖内区分模式図 (1966年)



付図13C Ammonia-N 季節変化の湖内区分模式図 (1966年)