

ノリ漁場における窒素収支

南西海区水産研究所

村上 彰男

A BALANCE SHEET OF THE NITROGEN AS THE PLANT NUTRIENT IN A LAYER CULTURE GROUND

Akio MURAKAMI

The movement of the nitrogen as the plant nutrient was quantitatively studied in a laver culture ground and its adjacent estuary from the viewpoint of understanding the amounts brought in and away by the inflowing river water, the sea water and the bottom mud. By examining and comparing the movement patterns in different seasons of the year and in different parts of the culture ground, the contribution of the river discharge to the nitrogen supply for the laver was evaluated.

It can be said that during January through February, when nitrogen consumption by the laver is at the maximum, leaching of nitrogen salts from the bottom mud into the sea water is scanty, and that river discharge is therefore a very precious source of nitrogen supply during this period.

§ 1. はしがき

水資源開発促進法により、筑後川水系は1964年に開発水系として指定され、'66年に基本計画として23 m³/secの取水を行なうことが公示された。この計画の有明海および筑後川漁業に及ぼす影響を把握するために、1965～'68年に水産庁による調査が行なわれた。筆者は調査団の一員として漁場環境に関する部門を分担した。

問題の一つに、筑後川の流量カットが漁場の栄養に及ぼす影響を想定することがあった。そこで、ノリ漁場における栄養を無機三態合計窒素としてとらえ、漁場、河、湾外、底質を含めたその出入の機構を定量的には握し、その中で筑後川に由来するものを評価する方法を試みた。事柄の性質上定量精度には幾多の制約が存在するが、このような問題は特に微視、巨視両面から追求する必要があり、解決の手段として、窒素の収支をその機構にのっとってOrder estimationの段階で量的にとらえようとした。Fig. 1に係水域を示す。

漁場における栄養塩の動態に関しては、奥田¹⁾をはじめ幾多の報告があるが、Cycleを全体として量的に取り扱った例は乏しいようである。この試みが漁場の栄養塩を論ずる上に、流入河川の側からみた窒素収支という点で何等かの参考になりうれば望外のよろこびである。御指導を賜った須藤調査団長はじめ団員各位、協同研究を行なった河辺克己博士、御協力をいただいた福岡県有明水試、佐賀県養殖水試、福岡教育大学化学教室に厚く御礼申し上げる。資料については報告書²⁾を参照されたい。

§ 2. 窒素収支の機構

ノリ漁場を中心とした場における窒素の収支をある時間断面でとらえると、Fig. 2に示すような模式図が得られ、漁場に現存する利用可能な窒素量は、図の白矢印の収入と斜線矢印の支出の差として規定しえよう。各項目は時と場所によってその値が変化するが、ここでは有明海湾奥域（三池・竹崎線以北 460 km²、平均水位時容積 2.4 km³）の年間の平均日量としてとらえた。

2-1. 河川水流入

Fig. 3に1965年8月～1967年5月の各月1回の有明水試による、筑後川河口上流5 km地点における無機三態窒素合計（以下Total-Nと書く）濃度 $\mu\text{g-atm/L}$ と、筑後川工事事務所による調査日の河口上流26 kmの瀬ノ下における筑後川流量 m³/sec、および日流入Total-N量 ton/day（濃度×日流量）を示す。Total-Nは1966年1～12月を平均すると 7.7 ton/day となる。この内訳は都市廃水が流域入口40×10人下水当量 0.2 m³/人/day、下水の窒素濃度25 ppm（約1,800 $\mu\text{g-atm/L}$ ）として 2 ton/day となり、工場廃水が食品・ゴム関係の排水量 22×10^4 m³/day、濃度25 ppmとして 2 ton/day、農耕廃水は季節的ではあるが、流量を本流（年平均流量を100 m³/secとする）の15%、濃度を 1.5 ppmとして 2 ton/day となる。残余は筑後川自体の量と考えられる。

六角川の流量は、流域比からみて筑後川の13%にあたる。濃度は溶存および非溶存（浮泥中のもの）を合わせて、1967年7月および9月の河川調査では夫々筑後川の 6.4、9.2倍で平均 7.8倍となる。従って流入Total-N量は筑後川とほぼ同量となる。他の諸河川については、流量が少なかったり、湾奥域に直接関係する度合いが低いので除外した。

本項は収入のみであるが、このうち浮泥や微生物などの形で存在する非溶存のものからは、水中へ溶解したり、非溶存のまま域外へ流出したり、底泥に沈積したりする。

2-2. 沖合との出入

一斉観測結果から三池・竹崎線上の測点U11、14、15、18において、測定時の流向が80～260度のときを流出期、それ以外を流入期として、各期別に表底層間5 mおきのTotal-Nの平均をとると次のようになる。

（単位 $\mu\text{g-atm/L}$ ）

年月日	'65. 11. 6	'66. 3. 8	'66. 7. 5	'66. 9. 1	'67. 1. 24	平均
流入期	7.1	14.3	9.3	3.8	4.6	7.8
流出期	6.9	20.7	8.2	5.0	3.1	8.8

平均潮差を2 m とすると、1日2回の上下潮による海水の出入量は、

$$2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 460 \text{ km} \div 1.8 \text{ km}^3 / \text{day}$$

となり、Total-Nの出入量は差し引き25 ton/dayの出超となる。

2-3. 底泥および浮泥との出入

浮泥や生物の遺がいなどは、浮遊している間に窒素の一部を水中に溶出させるが、結局は底泥上に沈積する。底泥表層においてバクテリアなどの作用を受けて分解し、一部は間隙水中に浸出し底層水から表層水へと運ばれる。沈泥の一部は流れのために浮上し、これからも窒素の一部が溶出する。海域での浮泥の沈積量と浮上量を等しいと考えると、この項では底泥中から分解して溶出するものと、懸濁する浮泥から溶出するものと考えればよいことになる。

Fig.4 に第5回一斉観測(1967年1月24日)における底泥中の全N濃度(湿泥に濃硫酸と分解促進剤を加えて加水分解したものをアルカリ性で水蒸気蒸留し、留液の $\text{NH}_4\text{-N}$ をネスラー法で定量したもの) $\gamma/\text{g} \cdot \text{DM}$ および振出率%の分布を示す。振出率とは、湿泥を窒素、磷を含みぬ人工海水と共に激しく振盪し、吸引濾過して濾液のTotal-Nを振出窒素濃度 $\gamma/\text{g} \cdot \text{DM}$ としたとき、その全Nに対する百分率をいう。第2~5回各一斉観測による面積加重平均を出すと次のようになる。

	'66. 3. 8	'66. 7. 5	'66. 9. 1	'67. 1. 24
全N $\gamma/\text{g} \cdot \text{DM}$	816	840	1,184	2,812
振出率 %	1.8	4.4	2.4	0.6

全Nの量は低温期に多く、1月は7月の3.5倍に達する。地域的には西部の粘土混入率の大きい地区に多く、筑後川流下水の通路に当る部分は少ない。振出率は高温期に大きく、低温期に小さい。全N量の小さい処では振出率が大きく、振出窒素濃度も高い。すなわち、有明湾奥域のように軟泥質の内湾では比較的底層の流れが速くて、結果的には粘土混入率の小さい場所では底泥からの窒素溶出率が高く、そのために底泥表層に残留する量が少なくなっているものと考えられる。

底泥から溶出する窒素量を算出するためには、底泥中の総量と溶出率を求める必要がある。前表に示す3月の結果では、底泥中の全N濃度は平均 $816 \gamma/\text{g} \cdot \text{DM}$ であるから、底泥の水分含有率を60%とすると、湿泥1 g 当り 490γ となる。湿泥の比重を1.7とし、全Nが底泥の0~5 cm層から溶出するものとする、湾奥全域でのこの底泥総湿重量は $3.9 \times 10^7 \text{ ton}$ 、その中の全N量は19,100 tonとなる。一方河辺³⁾によれば、沖の端川河口沖南西1 kmで9月に採集した湿重量13.7 kgの底泥(全N濃度 $300 \gamma/\text{g} \cdot \text{DM}$ 、水分含有率56.5%)をドーナツ型水路底に敷き、その上に26.8°Cの海水を26.2 cm/sec で流したとき、1日に海水中に溶出してきたTotal-Nは、保有全N量の0.5%にあたる8.5 mgであった。

窒素が水中に溶け出す速さは、奥田¹⁾によれば、各温度で3日間底泥を広口瓶に入れ遮光、保温しておいたとき、各温度の海水に溶出してきた $\text{NH}_4\text{-N}$ の量は、31°Cを1としたとき22~25°Cで1、11~13°Cで0.84、1~2°Cで0.75であった。また底泥を各温度に貯蔵したとき、底泥中に生成される $\text{NH}_4\text{-N}$ 量は40日間の実験では直線的な増加を示し、最初の7日間について言えば、30°Cを1としたとき25°Cは0.81、20°Cが0.52、15°Cが0.23、10°Cが0.11、5°Cが0.06の割合であった。これらを組み合わせて、底泥から水中へ溶出する量の水温による変化比率は、30°Cを1としたとき25°Cは0.8、20°Cは0.5、15°Cは0.2、10°Cは0.1、5°Cは0.05と考えられよう。

河辺の実験で、溶出率0.5%のときの水温は26.8°Cであった。一方'66年3月8日における有明海湾奥部の底層水温は13°Cであるから、この水温係数を適用して、このときの溶出率を $0.5\% \times 0.2$ とみなす。従って底泥からの溶出Total-N量は、

$$19,100 \times 0.005 \times 0.2 \div 19 \text{ ton/day}$$

となる。このようにして他の一斉観測各回の値も算出すると、'66年7月5日89 ton/day、'66年9月1日111 ton/day、'67年1月24日3 ton/dayとなる。'65年11月6日は測定値がないので、有明水試が'66年10月~'67年9月にかけて、筑後川河口沖干潟で毎月1回測定した値を引用して42 ton/dayを得た。

これら5回の平均は59 ton/dayとなる。

浮泥分布の一例として、Fig.4と同時の測定による表層(0~20cm層)、底層の浮泥濃度の各測定時平均の分布をFig.5に示す。他の一斉観測各回についても同様に各層毎に面積加重平均濃度を出し、各回毎の表、底層の平均値を各回の湾奥域全域の浮泥濃度とする。一方、湾奥部海水容積は基準面下で $1.45 \times 10^9 m^3$ あり、これに平均潮位2m、面積460km²の容積を加えて $2.4 \times 10^9 m^3$ となる。これらから各回の浮泥総重量を算出すると、それぞれ'65年11月1.2、'66年3月3.6、'66年7月2.6、'66年9月4.7、'67年1月2.3、 $\times 10^5$ tonとなる。浮泥中に含まれる窒素については、'67年7月5日、9月5日、'68年1月25日の有明、養殖両水試の共同河川観測結果から、筑後川河口上流2、19、29km、六角川河口上流3、9km、牛津川河口上流10km各地点における分析値を平均して4mg/g-Nを得る。浮泥からの溶出率を前述のように26.8℃で0.5%とし、これに各回の水深別の水温係数を乗じて溶出Total-N総量を求めると、順次0.7、1.4、4.7、7.5、0.5 ton/dayとなり、5回の平均は3 ton/dayとなる。

以上から底泥、浮泥との出入りは、+62 ton/dayとなる。

2-4. ノリによる消費

湾奥域における年間総生産量は12億枚といわれている。1枚の重量を3g、その窒素含有率を6%とすると、総窒素量は216 tonとなる。ノリ漁期は約4ヶ月であるが、これを年間を通じての平均になおすと0.6 ton/dayの消費となる。次にノリの現存量を算出しよう。漁期中のつみとり量は1日平均にして600~2,000枚万(1.1~3.6 ton-N)といわれているから、平均をとって2.4 ton/day-Nとする。つみとりが20日に1回行なわれるものとすれば、20日間のつみとり量は48 ton-Nとなる。これを20日目に1回まとめてつむと考へ、且つそのときつみとり量の半量のつみ残しがあったものとする、20日目の現存量は72 ton-Nとなる。1~20日目の現存量の平均を20日目のその $\frac{1}{2}$ と考えると、漁期中の平均現存量は36 ton-Nである。年間総つみとり量216 ton-Nを4ヶ月の漁期中の日平均にすると1.8 ton/day-Nとなり、これは現存量の5%にあたる。

2-5. 植物プランクトンによる消費

有明水試が1964年6月~'65年5月に行なったS、L線月例観測(大潮満潮時)で18測点において、XX13北原式ネットを50cm/secの速度で曳網して垂直採集した結果により、24時間沈殿量の各月平均を植物プランクトンの現存量とみなす。沈殿量の7%を乾物量とし、窒素含有率を3%とすると、現存窒素量は88 tonとなる。ノリと同様に現存量の5%を1日に消費するものとする、消費量は4.4 ton/dayとなる。

2-6. 収支決算

以上を整理すると、次のように48の入超となる。(単位はton/day)

収 入		支 出	
筑後川からの流入(溶存)	8	沖合との出入	25
その他の川からの流入(溶存)	8	ノリ消費	0.6
底泥との出入	59	植物プランクトン消費	4
浮泥からの溶出	3		
計	78	計	29.6

非溶存態や有機態の窒素量、および浮泥沈積量の測定が不十分であったから、非溶存態窒素の収支については量的に不明確な点が残されている。また底泥への蓄積や浮泥の域外流出、ネット採集物以外の植物による消費などは算出されていない。+48という数字は、こういった測定洩れや誤差にもとづくものと考えられる。

§ 3. 窒素収支の場所的・時間的变化

以上の収支決算で、ノリによる消費は年間平均では収入の1%弱、漁期間平均としてもわずか2%にしか当らない。しかし、漁場、漁期という制約を考えると、ノリに対する重要性は必ずしも僅少とはいえない。

そのことを明らかにするためには、湾奥域全年平均から一步進めて、場所的・時間的に細かく検討する必要がある。

3-1. 場所的变化

一般にノリ漁場となっている干潟面上は海水の動きがよいが、特に有明湾奥域漁場は潮流による強混合域に存在するため、高温期といえども水平・垂直の混合がよく行なわれている。従って干潟部の窒素量算出の際、上述のように表層の値で代表させたり、底泥から溶出してきたものが漁場海水中に均一に混入して行くものと仮定しても大した誤りではなからう。

Fig6-1~5に一斉観測各回の表層Total-N各潮時平均濃度分布を示す。流量は少ないが浮泥や窒素含量の大きい六角川や塩田川などの河口沖海域とか、都市工場廃水が大量に流入する大牟田沖海域では、窒素濃度は明らかに特異な分布を示す。従ってこれらの海域は湾奥全域として取り扱う場合、厳密には除外すべきであろう。しかし、塩分分布に関する報文²⁾において明らかにしたように、本海域は、筑後川の一次影響を強くうける河口近くの干潟部や、高塩分流入水の影響を強くうける南西部沿岸を別とすれば、一旦域外に出た低塩分水は上潮期に再び北上し、湾奥西部および北部に対しても東部とほぼ同様な影響を与える。従って湾奥域に存在するノリ漁場の水は、上述4特異海域を除けば大体一様なものと見なしえよう。

3-2. 時間的变化

時間的变化は、場所的なそれのように数値が偏在するばかりでなく、収支の規模や更には機構そのものでも変わってくるので、年間平均といった取り扱いに止めておくわけにはいかない。そこで前述の各項について、月変化ないしは季節変化を検討しよう。

筑後川流入窒素量の月変化は、Fig3のようである。概して高温期には多くて40 ton/dayにも及ぶが、洪水期にもこれと同程度までふえる。低温期には少なく、最低は2 ton/dayとなる。

Fig6に示す各回表層Total-N値を面積加重平均して、湾奥域の平均Total-N濃度を求める。また、これら各回と同時に行った河川観測の河口原点におけるTotal-N濃度（但し、'65年11月6日はNO₂-Nしかないので、有明水試月例河川調査の'65年11月12~15日の値によった）の最高値をもって筑後川流入水の濃度とし、これに観測当日の瀬ノ下流量を乗じて、筑後川よりの流入総量とする。前述のようにその他の河川からも同量流入する。これらが湾奥全域に均一分布するとして、平均潮位時の容積 2.4×10^9 m³で割ると、河川から流入したものが湾奥海水中に均一分布したときの濃度を得る。各回の両濃度とその比率は次のようである。

	'65年11月	'66年3月	7月	9月	'67年1月
表層濃度 $\mu\text{g-atm/L}$	16.6	32.1	20.8	8.1	6.3
河川流入分の濃度 $\mu\text{g-atm/L}$	0.10	1.26	0.48	0.24	0.32
同上比率 %	0.6	3.9	2.3	3.0	5.1

低濃度のときは河川流入分の占める比率が高い。特に1月は最高で、5%を占める。3月は洪水時であったが、このときは流入分も多く、比率も高くなっている。

次に湾奥域の現存量に対して各項のもつ重みと、その季節変化を求めるために、先づ一斉観測各回の湾奥域の現存量を算出する。

中層以下の栄養塩は、三池・竹崎線上の測点につき、5、10、20m各層および底層について行った。表層以深の値を平均して、前述の表層平均値に対するその比率 k を求める。一方、平均潮位時における湾奥域の平均水深は5.8mであるが、水深2mまでを干潟部とし、2m以深は沖合部とする。沖合部の面積は湾奥全域の63%であるから、0~2m層を表層とすれば、全域の濃度は表層の濃度の

$$\frac{1 \times 1 \times 2 + k \times 0.63 \times 3.8}{1 \times 2 + 0.63 \times 3.8}$$

となる。かくして、前記表層濃度と湾奥域容積を用い、湾奥全域における各回の現存量を求めうる。

河川流入量は上に述べた。沖合流入量および沖合流出量は、§ 2-2 に示した両期の平均濃度に出入水量を乗じて求められる。流出量は、季節的には3、7月に多く、9、1月に少ない。

底泥および浮泥からの溶出量については、§ 2-3 で述べた。底泥からの溶出の時間的変動は、ノリにとって極めて重要である。Fig. 7 に有明水試の1966年10月～'67年4月における筑後川河口干潟2測点、SA (H7)、L4 (H9) の測定値にもとづき、同様の方法で算出した底泥溶出Total-N 濃度 (干潟部の地域的、潮時的平均深度を2mとして、この海水中へ均一混合するものとした) および各観測日における干潟部の表層および底層のTotal-N 濃度のそれぞれの上下限と、底泥溶出分の海水濃度上下限に対する各比率の月変化を示す。底泥溶出分は、5～10月の高温期には海水中の20%以上を占め、特に6月と8月には海水中濃度の下限よりも高い。一方、11～3月の低温期には30%以下となり、特に11月と2～3月は10%程度にすぎない。

植物プランクトンについては、§ 2-5 の月変化を見ると、7月が最高で19.3 ton/day に達し、次いで11月16.2、12月6.5 ton/dayとなる。7月および11～12月の両回が増殖期に当たると思われ、他の月はいづれも年平均以下で、特に4～5月は0.2 ton/day程度にすぎない。

ノリによる消費は、もちろん漁期中のみであるが、つみとり量からみて1月の盛期には4 ton/day に達するものと思われる。

以上述べた収支各項別各月の量と、湾奥全域現存量に対する比率をまとめると次のようになる。

湾奥域現存量 ton	65年11月6日 396	'66年3月8日 806	7月5日 480	9月1日 216	'67年1月24日 185
収 入 ton/day (現存量に対する%)	226 (57)	429 (53)	347 (72)	222 (103)	161 (87)
内 訳 ton/day%					
河 川 流 入	4(2)	48(11)	18(5)	9(4)	12(7)
沖 合 流 入	179(79)	361(84)	235(68)	94(43)	116(72)
底泥および浮泥溶出	43(19)	20(5)	94(27)	119(53)	33(21)
支 出	収入に同じ				
内 訳 ton/day%					
の り	1	1	0	0	4 (0.25)
植 物 プ ラ ン ク ト ン	16(5)	1	19(6)	1	2
沖 合 流 出	174	523	207	126	78
そ の 他	35	(-94?)	121	95	77

('66年3月は、4～8日に計1,760mmの豪雨があった時の観測によったものであるが、洪水その他の異常状態に由来する数値の偏りと測定誤差が、他の回にくらべてより大きかったものと思われる。)

現存量は1月に最低となる。このときは底泥および浮泥からの溶出分の占める比率も少なく、一方、河川流入分の占める比率は大きい。すなわち、河口沖干潟のノリ漁場にあつては、河川流入分のもつ重みが最大の時期に当たっている。しかも、ノリによる消費も最大で、河川流入分の1/3に達している。今、もし筑後川下流部でこの時期に流量を1/4カットすると、それによる流入分の減少はノリの消費量の約40%にあたることになる。従つて、1～2月といったノリ盛漁期でしかも底からの補給の少ない時期においては、河川水流入の形で補給される窒素がノリ漁業において占める役割は、極めて大きいものがあるといえよう。

§ 4. まとめ

ノリ漁場における窒素の動態を、河川、漁場海水、底泥および湾奥域外を通じて出入の栈構の上になつて量的にとらえ、更にそれを場所的・時間的に検討することにより、河川流入分がノリに占める役割を評価した。その結果、1～2月にはノリの消費は最大であるのに、底泥からの再溶出が少なく、河川水として補給されるものが極めて重要であることがわかった。

参考文献

- 1) 奥田泰造 1953—57: 内湾底土中の可溶性栄養塩について, 東北水研報, 2—9
- 2) 筑後川調査報告, 1968: 水産庁
同 中間報告, 1966: 水産庁
同 一斉観測報告書, 1966—'68: 水産庁
- 3) 河辺克己 1968: 有明海ノリ漁場に於ける栄養塩, 水産土木, 4(2), 7—12

Fig. 1 Northern part of Ariake Sea and inflowing rivers to it.

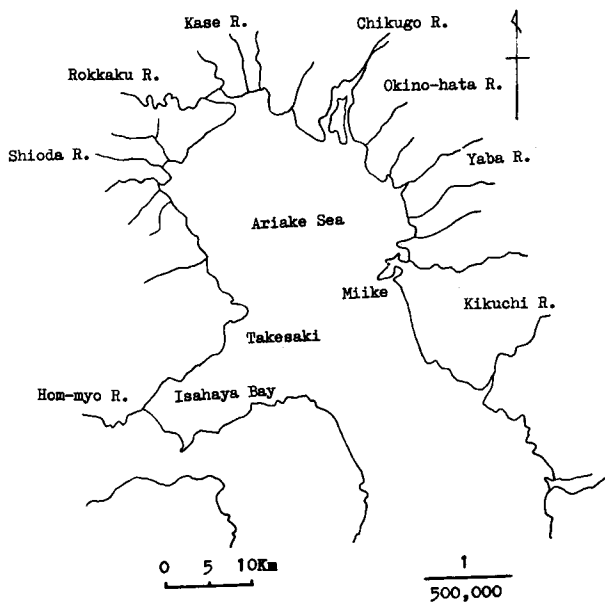


Fig. 2 Schematic chart showing incomings and outgoings of nitrogen as a nutrient salt in an aquicultural ground of laver.

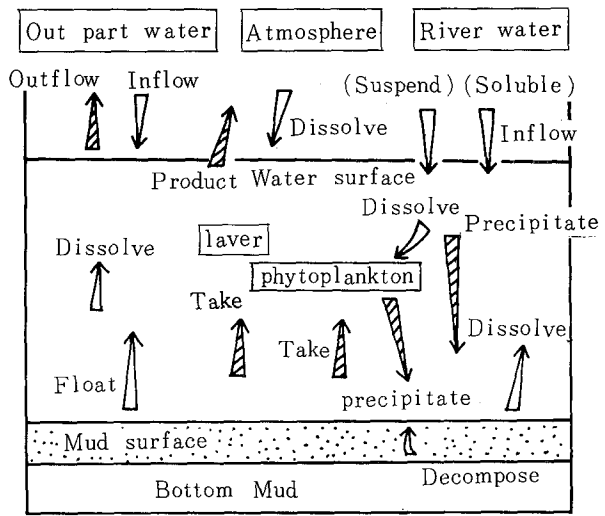


Fig. 3 Seasonal variations of total inorganic nitrogen in water of the Chikugo River, and its flux.

ton/day $\mu\text{g-atm/L}$

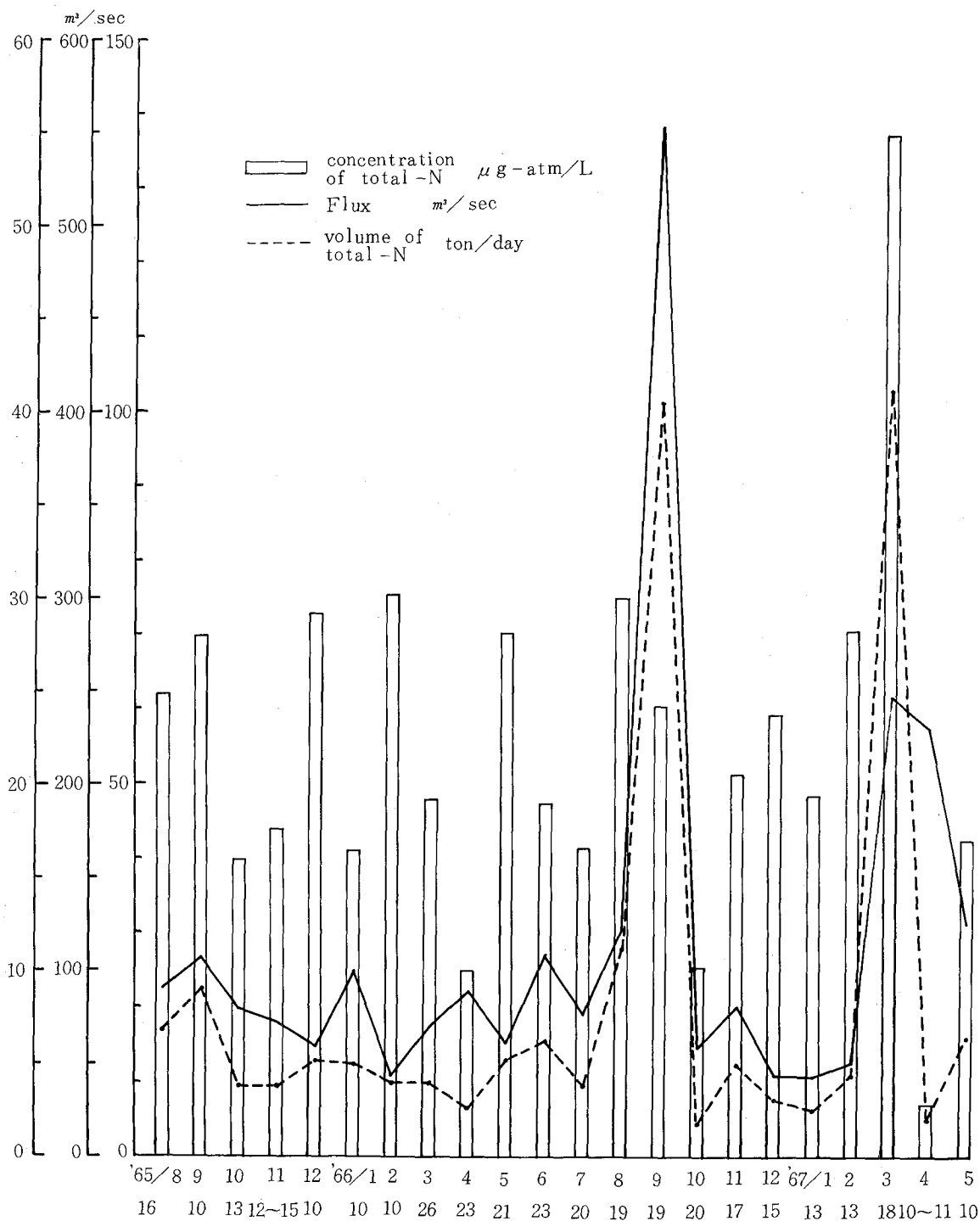


Fig. 4 Distributions of all nitrogen concentration in the bottom mud and the percentage of dissolved nitrogen by shaking.

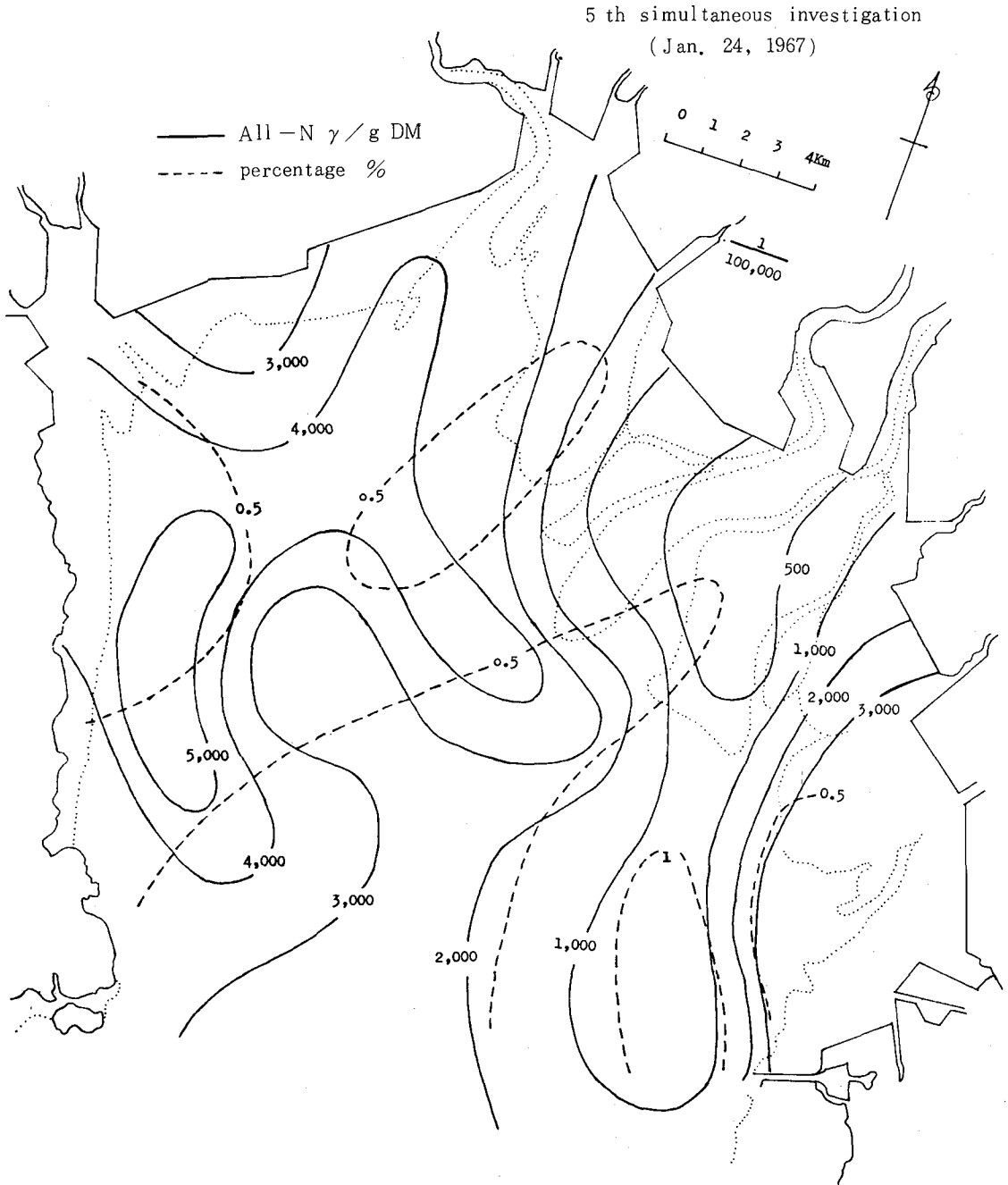


Fig. 5 Distribution of suspension concentration in surface and bottom waters.

5 th simultaneous investigation. (Jan. 24, 1967)

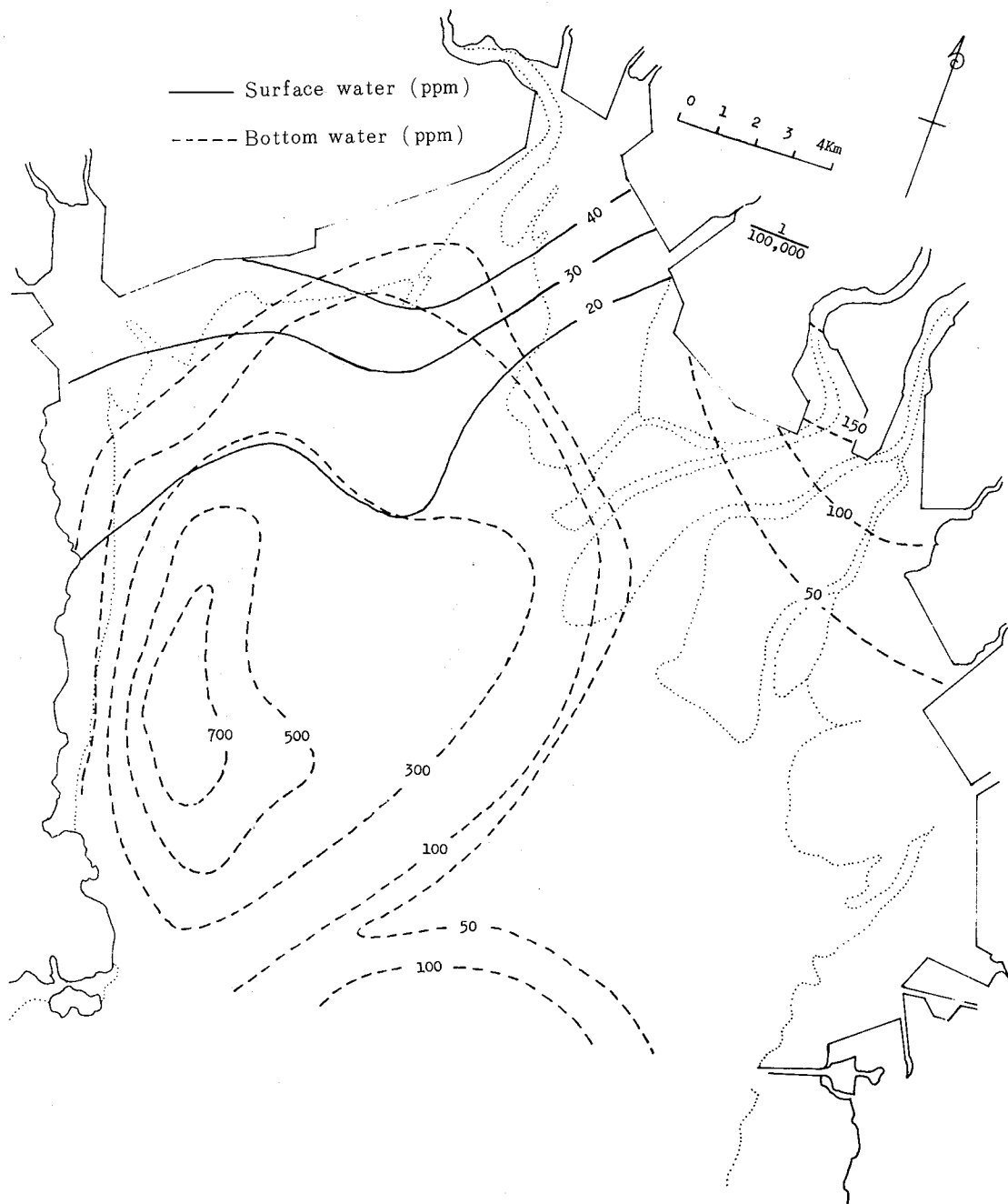


Fig. 6 - 1 Distribution of total inorganic nitrogen concentration in surface water.
an average of each tidal phase 1st simultaneous investigation
(Nov. 6, 1965)

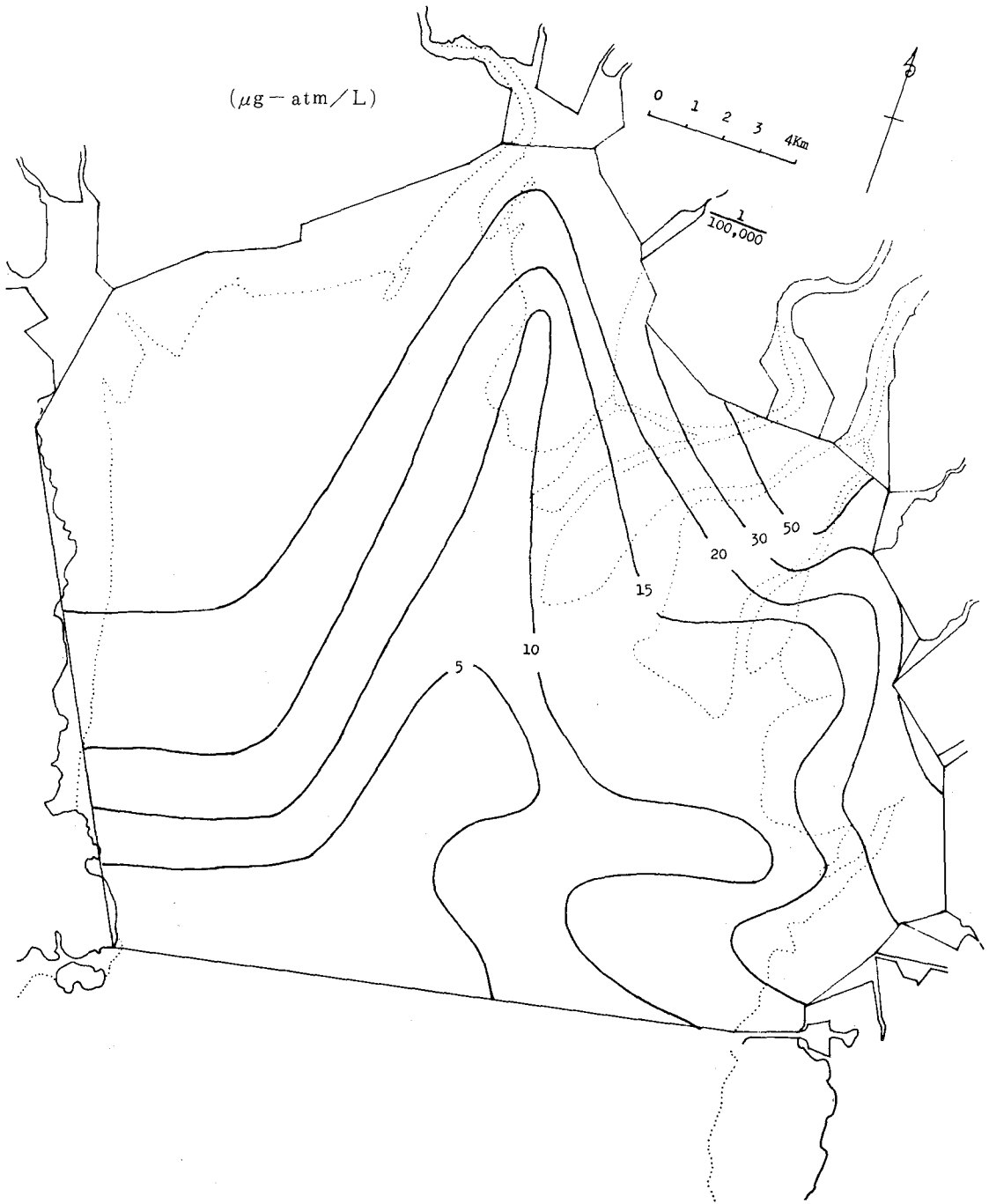


Fig. 6-2 2nd simultaneous investigation (Mar. 8, 1966)



Fig. 6-3 3rd simultaneous investigation (July. 5, 1966)



Fig. 6-4 4th simultaneous investigation (Sept. 1, 1966)

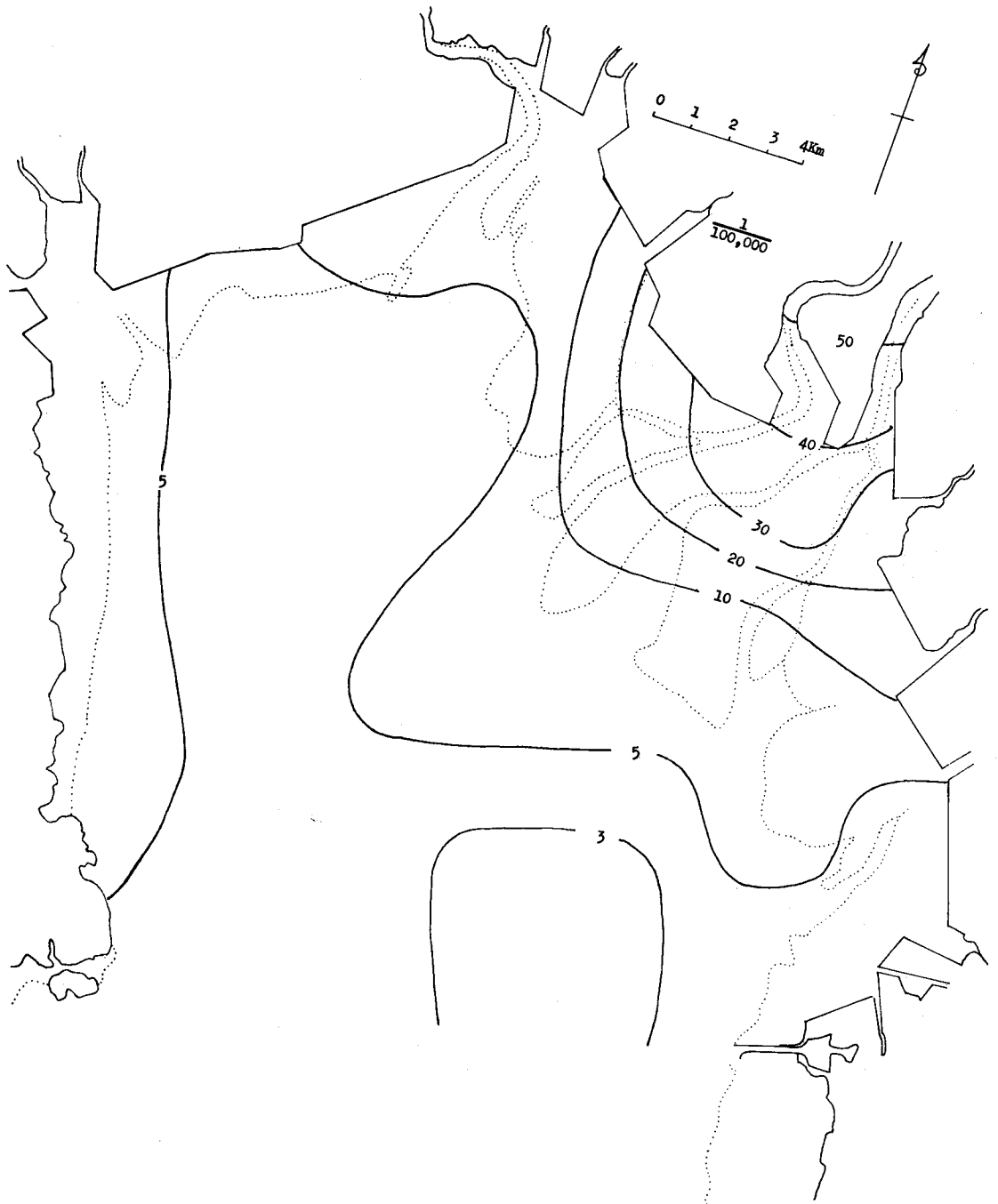


Fig. 6-5 5th simultaneous investigation (Jan. 24, 1967)



Fig. 7 Seasonal variations of upper and lower limits of two types of total inorganic nitrogen concentration, dissolved in sea water and derived from bottom mud, and the ratio of them at H7 and H9.

