

準閉鎖系としてみた内湾の汚染

—鹿児島湾におけるケーススタディ—

鎌 田 政 明*

〔I〕 環内湾域における汚染調査の方法論

1. はじめに

本邦においては各地の沿岸あるいは内陸部の都市化、工業化にともなって沿岸海域、あるいは内湾海域の水質汚染が問題化し、その早急な対策確立が要望されてきている。

たとえば鹿児島湾は本邦に残された数少ない自然状態に近い内湾—未汚染あるいは低汚染内湾といわれているが、この内湾の沿岸内陸部においても部分的ながら都市化（人口の集中）、工業地化がすこしずつ進行しており、細長く中央部よりやや北よりの所で、細くくびれている（桜島の存在）という自然条件とあいまってその汚染の進行が懸念されている。厳密に言えばこの内湾は初期汚染の段階にあるといえるだろう。

鹿児島湾の面積は東京湾のそれとほぼひとしく深さは平均して4～5倍はあるといわれている。しかし沿岸部の都市化、工業化の程度がはるかに低いために、今日のように日本一美しい内湾という現状をかちえているともいえる。第1図に鹿児島湾海底地形断面図、第3図**に湾地形図が示してある。

現段階においてこのような内湾の実状をしらべておくことは次のような諸点からぜひとも必要である。

1. この内湾の自然環境をできるだけ保全するための方策をたてる。すなわち現段階における初期汚染の状態を把握しておいて汚染の進行があった場合それをすみやかに把握してその情報を有効に利用する。
2. 内湾における一般的な初期汚染がどのような面にあらわれてくるかを知るといふ基礎的な資料をうるため。とくに巨大都市と化した地帯の汚染は末期的な状態になっていることが多く、

汚染の実態の解析も、原因の究明もはなはだ困難なことが多い、鹿児島湾のように沿岸部の開発が比較のおくれている地域では汚染物質個々の流入（供給）過程をかなりこまかく追求解析できる可能性が大きい。

2. 内湾としての鹿児島湾の水質調査の方法論

2-1 準閉鎖系としての内湾、環鹿児島湾域の一部としての鹿児島湾

従来鹿児島湾は内湾であるため、海水の更新に日数がかかり、汚染物質の流入があればそれが湾外へ流出し、浄化されるのにかなり時間がかかることはよく知られていた。しかし、どのような汚染物質がどのような地域から、どのくらいの速度で供給され、それが海域の水質にどのように影響するかということについてはほとんど関心もたれなかったようにみえる。

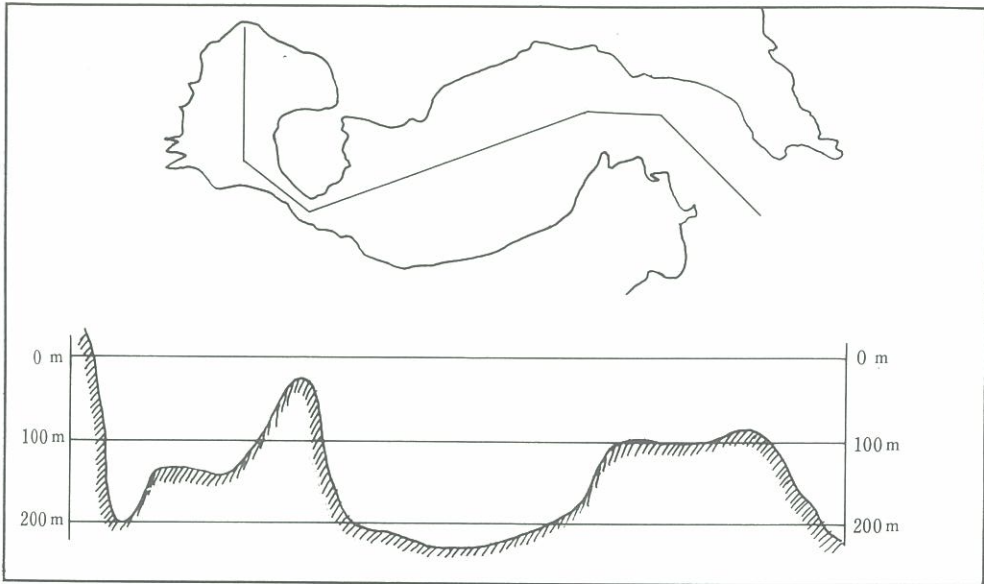
鹿児島湾の水質の断片的な調査はあっても、また水産資源獲得の場である海洋の栄養学的調査はあっても、本格的な汚染調査はまったくなかったともいえる。

筆者は、鹿児島湾を準閉鎖系として、たんに水圏だけをみる立場では不十分であり、環鹿児島湾域（いちおう分水嶺から湾よりの地域）の一部としてみることを主張してきている。

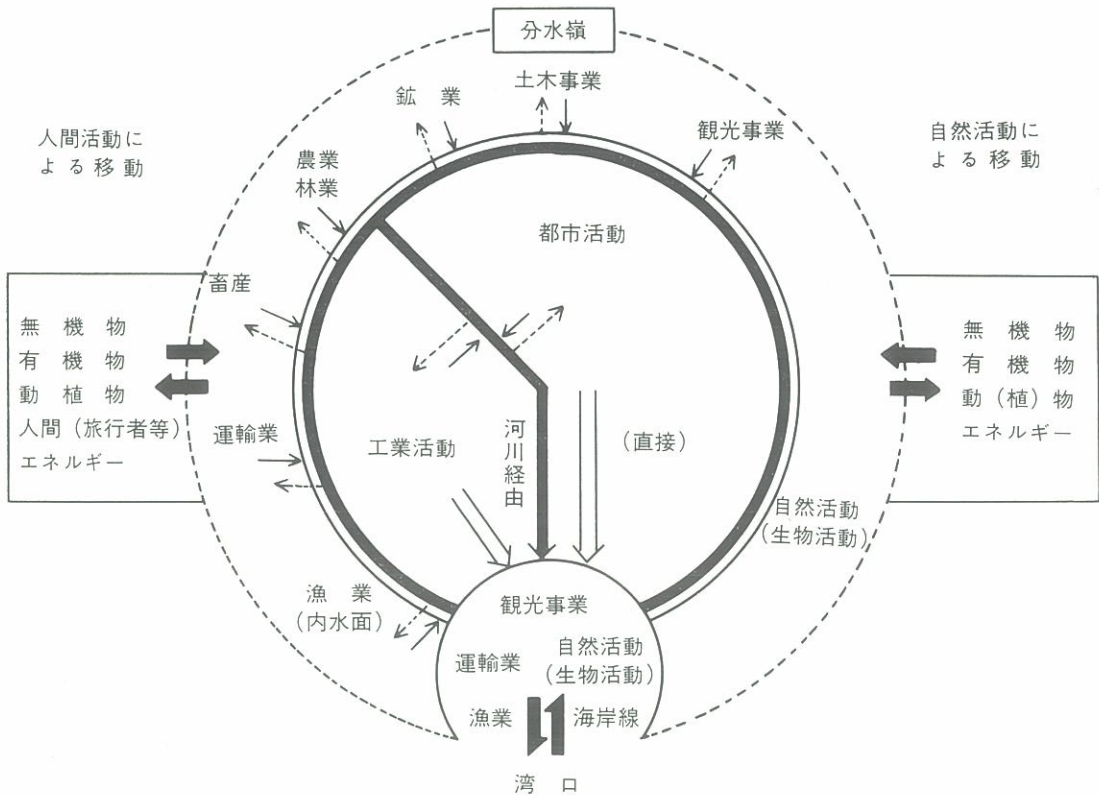
第2図にこのような環鹿児島湾域の模式図と境界を通過する物質およびエネルギーの出入りの諸相の図を示す。われわれは海水の汚染という現象だけに眼をうばわれがちであるが、これは、このような模式図をみればただちに直観さ

*鹿児島大学理学部教授、理博 本協会理事。

**鹿児島大学水産学部高橋教授らによる。



第1図 鹿児島湾海底地形断面図（高橋淳雄らによる）



第2図 環鹿児島湾域における物質およびエネルギーの出入（鎌田政明，1973）

れるようにこの準閉鎖系へのある成分の供給速度と系外への脱逸速度に差ができるためにおこるひとつの現象にすぎないともいえる。

第2図にはこの系の中で物質およびエネルギー

のうごきに関連していとなまれる人間活動の諸相と、自然活動の諸相が示されている。このことについては次節でややくわしく説明することにしよう。

2-2 汚染物質の供給源—自然活動と人間の活動

第1図に示した海岸線を通して内湾に供給されるさまざまな汚染物質は自然の活動にもなって動いてきたものか、人間の活動によって排出されたものかいずれかである。自然の活動は鹿児島湾形成時—鹿児島地溝帯の形成時から今日までいろいろな変遷をへてつづいてきたわけであり、かならずしも定常的な状態ではなかったがそれらは地質学的な時間の長さの間での事件であって短い時間ではほぼ一定ともみなしうる。

しかし沿岸部でいとなまれる人間の活動となるとそうはいかない。原始時代、いくばくかの原始人が沿岸に散在していた時代には人間は完全に自然の一部であったわけだが、今日ではもはや自然の一部とはいえないような高次元のいとなみをしているわけで、1人あたりの関係する物質質量も、エネルギーも原始人のそれとは比較にならず、それも年々増大する傾向にある。すなわち、物質、エネルギーにかかわるという意味での人間の活動は高次化し、多様化し、規模も大きいものとなってきた。

第1図には人間活動の諸相が例示してあるが都市活動というのは今日、日本人の平均的な市民生活という意味であって、それにならんで工業活動が物質とエネルギーにかかわる活動としては最も大きな活動としてならべて示されている。

ここでとくに強調したいのは、この地域での人間活動の諸相、諸形式のほとんどすべてのものが多かれすくなかれ物質、エネルギーにかかわるものとして考慮に入れられなければならないことで内水面漁業にはじまり、運輸業、畜産業、農業、林業、鉱業、土木事業、観光事業などなど、まだ工業化のおくれている本県としては相対的比重のかなり大きな産業のいずれもが物質、(エネルギー)の消費、環境への放出にかかわっているという意味で一括されているのである。

これらの具体的な影響がどのようなものか後章でところどころに例示する予定である。

2-3 汚染物質の内湾への供給経路

第1図にも示されているように汚染物質が内陸から内湾へ供給される経路には、河川経由のもの直接の流入(工場などの専用水路を経由するものを含む)大気圏経由のものとして三つに大別されるであろう。

しかし直接の流入は比較的大きな汚染源であることが多く捕捉しやすい形態であるので、第1段階として、ここでは河川経由で流入するものを重点的にとりあげることとする。小規模、分散的な汚染源を捕捉するのはこの方法をおいてないからである。

2-4 汚染物質の供給形態

理論的にいえば河川経由に問題を限るとしても物質の三態である固相、液相、気相の三つの相で内湾へ供給されることになる。しかし固相といっても粒子の大きいものは、河川の状態が特異なとき(増水時、洪水期など)をのぞいては一般に問題にならない、すなわち液存状態を主とするものが問題である。

しかしこまかくいうと微細な懸濁状態にあるものと溶存状態にあるものとの境界は必ずしもはっきりしたものではない、いわゆるコロイド状態の問題である。ここでは海に供給されたのち、海底等に除去されることなく滞留時間が長いもの(はなはだ漠然としているが滞留時間が∞のものはいわゆる溶存状態にあるもので、みじかいものはすぐに沈澱し底土に除去されるもの、されやすいものということになる)を主体に考えていくことに限定した。

2-5 海水中の汚染物質の存在状態と内湾海水の更新

湾の入口と湾の奥ではちがうけれども、また深度によってもことなるであろうけれどもともかくも内湾海水はいつかは更新する。それまでの間に海水中でどのような存在状態をとり、どのようにして「存在」しているかということは各成分についてははっきりしているわけではない、ただ溶液論的な常識からいろいろなことが推定されるにすぎないわけである。一般的にいえば供給された地点から湾外へ脱出するに要する時間の長短によって、その成分の状態がどのよう

に変遷するかが問題である、更新されるに要する時間がぐくみかい所では本来沈澱となりやすい成分であったとしても底質中には入りにくいであろう、しかし更新されるのに要する時間が長い場所に供給されたときにはその成分はいくらか底層中に入っていく、底質への徐々ではあるが蓄積がはじまることになる。

この間、無機的な変化がいろいろくりかえされ、またその成分が生態系のなかにあつてたとえば食物連鎖（Food Chain）の一環にくみこまれるような場合には有機体を経由して輪廻していくことになる。

2-6 いわゆる環境容量

ある大きさをもった環境、を考えそれ自体の中に自浄能力があつたとし、汚染物質の負荷がかかってもその自浄能力の範囲内の負荷量であればその系への汚染物質の負荷量は事実上0とみてよいという考え方がある。いわゆる環境容量という概念である。この概念には次のような問題点が指摘されよう。

- ある大きさはどのくらいのものか
- 環境とは単なる気相液相といった物理的な相だけではなく感覚主観的な要素を含むものではないのか
- 自浄能力とは何か、限定された空間を考えるわけであるが、その系から他の系へのある成分の移動を含むのか含まないのか

成分としては元素を意味するのか、化合物を意味するのか、元素が（極端な物理的条件のもとでは別として）事実不変不滅であることはよく知られているが、化合物の場合にはいろいろな物理的、化学的条件下にあれば変化が生まれることもあり、それが微生物の活動によって促進されることもあり、必ずしも不変不滅ではない。

もし自浄能力というものを、ある水質指標要素で判定するとすればその水質指標要素の変化で判定しなければならないわけだが、そのような万能の指標要素がありうるものであろうか。

変化のパターンはあらかじめわかっているのであろうか、かなりの大きさをもつ空間の中に、多数の無機的（地球化学的プロセス）

が内包され、それとオーバーラップするかたちでいわゆる生態系が存在しているわけで、きわめて複雑な物質系である。そのようなシステムの状態が変化する場合のパターンはおそらくきわめて多様性に富んでいるはずである。

- 湖学でよく知られている「富栄養化、に關連した湖の進化という現象がある。これはかなり長い「時間」の経過の過程でおこるものとされているが、いま問題になっている変化はどのくらいの長さの時間のあいだで認識しようとするのか
- 「自然」に起る変化との読み分けをどのようにするのか、自然の変化は緩慢であるが着実におこりしかも多様である
- 地表の条件（地形、その他自然条件）は多種多様であり、抽象化には限界がある。したがってひとつの地域を問題にするときはその場所でのいわゆる環境容量を個々にきめなくてはならない。
- たとえば鹿児島湾を例にとつた場合、さきにもべてきたように全体をひとつにまとめて考えることはむづかしいので（自然条件が同一ではないので）いくつかの区域に分けなければならぬまいが、区域分けには決断が必要である。元來連続的なものを不連続と考えなければならぬからである。

環境容量という概念そのものにいろいろな問題がありながらそれが手がかりとしてよく引きあいにだされるのは、おそらく人間活動のいきつくところがどこにあるのかという人間自身の不安感のひとつのあらわれかも知れない。筆者は限定された空間であっても、そのなかのあらゆる相に気をくばり、あらゆる人間の活動の諸相に心をくばり、自然活動の程度にも注意を払いながらたえず人間のすすめる活動に対するアフターケアをつづけ漸進的にことをはこぶ以外に方法はないと確信している。未知数、未確定の要素があまりにも多いからである。

それと「環境」を撰択するのは人間である。われわれはどのような質の環境をえらぶのか、規準のたてにくいことではあるが結局

人間の撰択にかかってくる。

たとえば鹿児島湾はかけがえのない美しい景観をもつといわれる、それはたしかに保全すべきものである。

観光資源、としてもはかり知れない価値をもち、鹿児島県民もそれによって直接間接に恩恵をこうむっている。同時にこの場はまた多くの県民の生活の糧をうる場でもある、漁業、養殖漁業のようにこの場を直接利用する住民はもとよりであるが、県民共有の財産でもあるわけだから、基礎的な環境調査をたえず実施し、さきへのべた環鹿児島湾域の一部としての認識のもとに、あらゆる相がかかわっていることを考えて、こまかい区域わけをおこなって区域ごとに環境基準の設定をおこない漸進的に沿岸の利用をすすめていくという態度が必要なのではあるまいか。

3. 河川経由の汚染物質の移動量とその解析

3-1 河川経由の汚染物質の移動量

3-1-1 内湾流入河川の水質と河川経由の汚染物質移動量

内湾に対する汚染物質の供給経路として考えられるものうち河川経由のものをとりあげる理由は、個々の捕捉しにくい小規模の汚染源の総計を把握する、内陸部からの汚染物質の供給総量を河口付近で把握することのふたつにつきよう。

従来河川の水質調査は、環鹿児島湾域でもかなりくわしくおこなわれているが流量の同時測定はほとんどない、これは河川自体の環境の保持だけに重点がおかれていたためであったし、小規模の河川、側溝などはほとんどとりあげられることがなかった。

最近、ようやく鹿児島湾自体への負荷量を考えるという立場から、水質調査だけではなく、流量を測定し、いろいろな成分についての負荷量を算定するという気運が生まれつつあることは環境管理という立場からすればむしろ当然であろう。

筆者らはこのような水質と流量との同時調査をかねて主張してきたが、今回の調査ではこの

ことを実行し、鹿児島湾への負荷量をその都度実測することとした、さいわい、観測期間中、対象とした河川の流量はそれほど大きいものではなかったから、2、3の場合をのぞきそれほど困難ではなかった。

橋の上等から単に採水し、水質分析をおこなうだけなら、むしろ実験室の仕事であるが、実際河に入り、河床の状況を文字通り肌で感じながら調査することは、河床をふくめた河川の汚染の実態を把握するのにきわめて有益である。

3-1-2 河川経由の汚染物質移動量算定法の問題点

河川に入ってみるとすぐ気づくことであるが、河川は単なる水溶液ではない、いろいろな粒度分布をもつ固相が、水によって動き、下流へとはこぼれていく。これは洪水時において極端な状態になるわけであるが、われわれが主力をおいた平水位～濁水位時においても、やはり固相としても下流へと物質が動いているのである。

われわれは河川水を採取し、それを分析し、流量を測定し、下流つまりここでは鹿児島湾への負荷量を計算し、いろいろな考察の基礎とするといっても、溶存しているもの、粒子が比較的小さく懸濁しているものを主として捕捉しているだけであることをつねに念頭におく必要がある。

つまりわれわれはある汚染物質の内湾への負荷量の最小値を一それに近いものを把握できるだけであり、実際の負荷量はそれよりもかなり大きいものとしなければならぬ。溶液になりやすいものではこの最小値と実際の値との差はそれほど大きいものではないであろうが、沈んで固相に入りやすいものについては、また元来、地表において固相で存在するものについてはその差はかなり大きいものであろう。

このように考えてくると河川の水質を分析し同時に流量を測定するにしても、各河川を経由して移動する、内湾に供給される物質量の最小量をおさえることしかできにくいことになる。増水時の採水、流量測定などが事実上困難であることを考えればこれはいたし方のないことである。筆者らは、平水位～濁水位時の採水を中

心とし、しかも個々の河川ではなく、全域を四つにわけて各グループごとに「相対的負荷量」ともいうべきものを算定する方法を採用したがこのことはあらためて後述する。

3-1-3 河川経由の汚染物質移動量算定法

3-1-3-1 河川水の採水方法

橋などを利用できる場合は橋上から採水することもあるが多くは直接河川水中で採水した。とくに微量成分の分析をおこなう場合には採取用器具、容器などの材質、洗浄には十分注意し必要な場合は採取後、直ちに冷凍室にて冷凍して保存した。また酸を加えて保存した場合もある。

3-1-3-2 分析項目と分析の方法

目的を考え、水温、PH、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SiO_2 、などの一般的な項目のほか重点水質要素（成分）について分析した。それぞれの分析方法を併記して示せば次のようになる。

リン（リン酸イオン態）：モリブデンブルー、有機溶媒抽出分離による吸光光度定量法

BOD：Lespiro 法による酸素直読法、ABS（MBAS）：ABS—メチレンブルーイオン対のジクロロエタン抽出による吸光光度法（とくに低濃度の場合には、試料の保存が問題であり、この点に関して、また感度の向上に関してはあたらしく工夫してその方法を使用した。

（米原範伸ら1972年7月、第9回化学関連支部合同九州大会で講演、「分析化学」投稿中）

鉍物油：ひとくちに鉍物油といっても種類が多い、ここでは大西らによって研究された感度のすぐれた方法を用いた。（海水の分析法の所でのべる）

亜鉛：ジチゾン比色法、またジチゾンによる分離抽出後、原子吸光光度法による分析法を用いた。重金属の分析の場合、保存するポリエチレン容器は良質のものをえらび、あらかじめ1

昼夜程度1：100の特級硝酸にひたしたものを使用する。さらに用いる試薬類はとくにきびしいブランクテストをおこない、分析環境も特に清浄になるよう心がけなければならない。また試水採取後、1ℓに対して5mlの濃硝酸を加えて保存する。亜鉛などの親銅元素の分析法に関しては文部省の特定研究班において、共通の河川資料の配布がおこなわれ、多くの研究者のもとでの分析結果の相互比較が実施されたが、ときとしていちじるしく過大、過小の値がでることがみだされておられ、困難な分析のひとつであることがわかっている。

3-1-3-3 流量測定法

3-1-3-3-1 採水点を考慮した測定点の選定

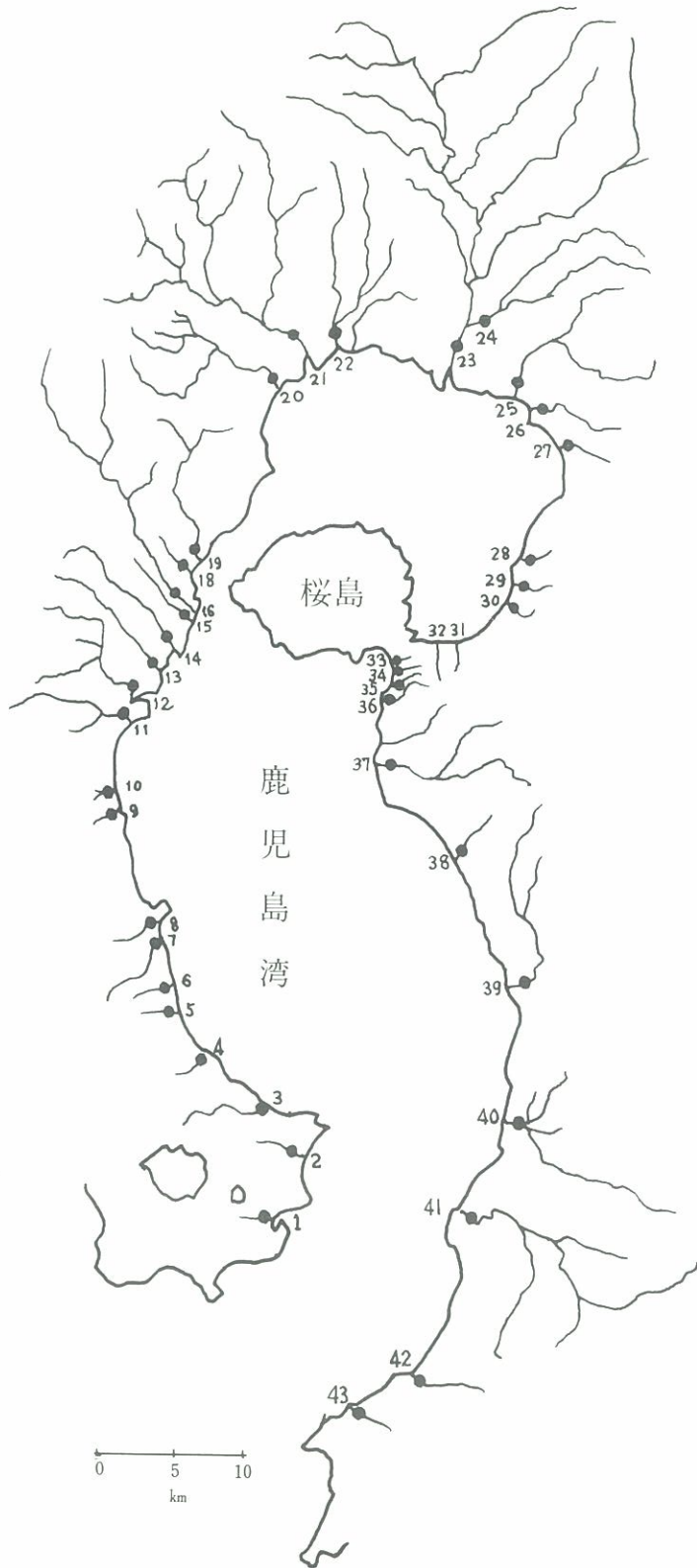
われわれの目的が水質分析と同時に流量を測定しようとする以上、その河川全体の下流への負荷量を代表する地点で採水し、流量測定をおこなう必要がある。このため感潮域をさけてこの湾に流入する各河川の採水点を決定した。一部の河川においては感潮域において干潮時に採水するほか適当な場所のない所もあった。採水点、流量測定点は第1表および第2図に示してある。多くの河川では調査点より下流にかなりの汚濁水の流入があり、この影響も無視しえないから考察のとき補正的にとりあつかう。ただし甲突川の場合、河口にある鹿児島市の錦江汚水処理場の排水は最も大きく、成分によってはその影響を無視できないので、ひとつの河川と考えて測定することにした。ただし、この場所はむしろ海とよぶべき場所にあり、その調査はかなり困難であって、干潮時の短時間の間しか調査できなかった。

ごく小さい河川にあっては流心の一点で十分なこともあるが、河幅がひろくなると、左岸、流心、右岸では水質に差異がでてくる。第2表にその1例を示す。

第1表 鹿児島に流入する河川のグループわけと各河川の流量
(測定：鎌田政明他、1972~1973) ***

単位：m³/sec

| 河川グループ | 河番 | 川号 | 河川名 | 採水点 | \bar{x}_G (幾何平均) | 試料数 |
|------------------------|--|----|-----------------|--|------------------------|-----|
| I | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | | 成二港田貫底幡岩野子 | 成川部落 中村園芸 太人鼓場 で粉工場 小畑神橋 水重門橋 二重道橋 水国道峰 国金 | 0.2561 | 5 |
| | | | | | 0.1949 | 6 |
| | | | | | 0.7566 | 5 |
| | | | | | 0.4089 | 2 |
| | | | | | 0.075 | 1 |
| | | | | | 0.2539 | 5 |
| | | | | | 1.060 | 6 |
| | | | | | 0.062 | 1 |
| | | | | | 0.1449 | 2 |
| | | | | | 0.03 | 1 |
| 小計 3.242 (全体の6.6%) | | | | | | |
| II | 11 12 13 14 15 16 17 18 19 | | 和永脇新荒甲(錦江汚水処理場) | 潮見村橋 (七字宿橋) 宇涙よじろ橋 草傘田橋 水黒門葛上橋 | 0.6428 | 3 |
| | | | | | 0.4153 | 5 |
| | | | | | 0.8157 | 5 |
| | | | | | 0.3895 | 2 |
| | | | | | 4.019 (別表) | 49 |
| | | | | | 0.6029 | 8 |
| | | | | | 0.16 | 1 |
| | | | | | 1.097 | 6 |
| | | | | | 小計 8.142 (全体の16.5%) | |
| III | 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 | | 思別府掛(天)降籠校 | 国道橋上流 船津日温泉橋 春日山泉橋 鏡鉄橋上流 | 1.559 | 2 |
| | | | | | 3.959 | 6 |
| | | | | | 1.521 | 2 |
| | | | | | 15.175 | 6 |
| | | | | | 1.915 | 6 |
| | | | | | 1.276 | 4 |
| | | | | | 0.18 | 1 |
| | | | | | 0.093 | 1 |
| | | | | | 0.0656 | 2 |
| | | | | | 0.163 | 2 |
| 0.129 | 2 | | | | | |
| 0.0366 | 2 | | | | | |
| 0.038 | 1 | | | | | |
| 小計 26.11 (全体の52.8%) | | | | | | |
| IV | 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 | | 小鶴飛中本松高神雄大伊座敷 | トネル前 国道橋下 高城橋 高須社橋上横上横 神川橋上横 大伊座敷小 | 0.00 | 1 |
| | | | | | 0.03 | 1 |
| | | | | | 0.00 | 1 |
| | | | | | 0.044 | 1 |
| | | | | | 1.031 | 5 |
| | | | | | 0.06 | 1 |
| | | | | | 0.9802 | 6 |
| | | | | | 2.496 | 6 |
| | | | | | 6.777 | 6 |
| | | | | | 0.45 | 1 |
| 0.056 | 1 | | | | | |
| 小計 11.92 (全体の24.1%) | | | | | | |
| 総計 49.42 (総流量) | | | | | | |



第3図 鹿児島湾および流入する河川（●および数字は採水点の位置と番号を示す）

第2表 甲突川におけるリン酸イオン含有量の
時間的变化（右岸、流心、左岸の各採
水点におけるP（リン）のppbで示す）

採水日：1972年12月5日～6日

| 時 | 刻 | 左岸 | 流心 | 右岸 |
|----|-------|-----|-----|-----|
| 5日 | 12:30 | 219 | 87 | 135 |
| | 14:30 | 188 | 80 | 70 |
| | 16:30 | 215 | 75 | 85 |
| | 17:30 | 190 | 60 | 53 |
| | 18:30 | 178 | 55 | 48 |
| | 20:30 | 160 | 75 | 43 |
| | 22:30 | 268 | 80 | 55 |
| 6日 | 0:30 | 135 | 62 | 56 |
| | 3:30 | 108 | 35 | 45 |
| | 6:30 | 66 | 30 | 25 |
| | 8:30 | 133 | 52 | 90 |
| | 9:30 | 317 | 133 | 155 |
| | 12:30 | 385 | 155 | 155 |
| | 12:30 | 301 | 113 | 85 |

このような場合にはそれぞれを代表する区域に分ち、それぞれの部分の流量をこまかく測定し全負荷量を計算した。

また成分によっては表面ちかくにとくに存在量の多いもの（鉱物油分）などもあり、深さによって濃度のちがう場合もあるので、川の断面像（流量測定には必要である）をこまかく測定しなければならない。

3-1-3-3-2 測定時刻の選定

降雨の影響を別にしても広義の人間活動の結果が河川の水質に影響するわけであるから、いつ採水し、いつ流量を測り、負荷量を求めるかが重要である。人間活動の時間的变化に対応し汚染物質の河川への供給量は変化し、水質は変化する。人間活動の場がどこであったかによって一定時間の影響のおくれ、も考えられる、また成分によってこのような変化のあらわれかたは当然かわってくる。したがってその変化のパターン（平均的なものにせよ）をあらかじめ知っておかなければならない。

第2表には右岸、左岸、流心の同時刻における水質の差異が示されているが、時刻によって水質がかなり変動する様子がはっきりと示されている。

このような変化のパターンはリン（リン酸イ

オン態）だけではなく他の多くの成分についてもたしかめられており、24時間観測をつねにおこなうことはできないのであるから対象河川についてあらかじめその変化のパターンをしらべておく必要がある。

鹿児島湾の場合、沿岸の都市は人口約43万の鹿児島市が代表的なものであり、他の市町村は人口もひとけた少なく、工業活動などもそう大規模ではないから、事業場排水などにかかわる特定成分をのぞき、時刻はあまり考慮しなくてもよい。しかし時として不定期に排水を放出する各種事業場などがあるから十分の注意を払う。季節的に操業する工場などについても同様である。

3-1-3-3-3 増水時の採水と流量測定

降雨によって河川の流量が増大し、水質も変化することが知られている。このような増水時の水質の情報は今日はなほだとはほしいのでありわれわれの調査においても同様であった。しかしさきにものべたように、主として平水位時～増水位時の採水と流量測定をおこない、負荷量のミニマム（最少量）をおさえ、ほぼ同一条件で河川相互に比較するという方法をとったのであるから、増水時の採水、流量測定は補助的な意味でだけ実施した。このような時季の採水、流量測定はかなりの危険をとまなうので今後の問題として、安全確実な自動採水、流量測定の方策を確立することが必要であろう。

3-1-3-4 流量測定の結果

各河川について結果を第1表に示してある。大、小の河川をできるだけ洩れなく調査し、主要な河川については5～6回測定している。甲突川については4回の連続観測をふくめ10回実施した。

各河川の測定値の幾何平均値を求めて同表に示してある。

甲突川の測定値は別に第3表に示してある。この表では一連の連続測定については個々に幾何平均値を求め、さらにその幾何平均値を求めて甲突川の値とし第1表にのせてある。この表には主として1972年から1973年9月までの値が示してあるがその後も測定をつづけており、湾への負荷量の計算のときにはそれらの値も使用

することにするが流量についての平均的な大勢は動かない。

第3表 甲突川（鹿児島市）の流量（測定：鎌田政明他1972～1973）***

| 年 | 月 | 日 | 時刻 | 流量 | $\bar{x}A$ | $\bar{x}G$ | σ |
|-------|----|-------|-------|--------------------|-------------------|-----------------|----------|
| '72 | 10 | 6 | 16:30 | 3.3 | (3.3) | (3.3) | — |
| | | | 12:30 | 3.53 | | | |
| | " | " | 14:30 | 3.80 | | | |
| | | | 16:30 | 3.37 | | | |
| | | | 17:30 | 3.82 | | | |
| | | | 18:30 | 3.26 | | | |
| | | | 20:30 | 3.41 | | | |
| | | | 22:30 | 3.28 | | | |
| | 12 | 6 | 0:30 | 3.33 | 3.44 (n=14) | 3.45 | |
| | | | 3:30 | 3.32 | | | |
| | | | 6:30 | 3.39 | | | |
| | | | 8:30 | 3.44 | | | |
| | | | 9:30 | 3.43 | | | |
| | | | 10:30 | 3.42 | | | |
| 12 | 15 | 17:00 | 3.86 | 3.950* (n=5) | 3.956 | | |
| | | 12:50 | 3.98 | | | | |
| 12 | 16 | 0:20 | 3.68 | (9.13**) (3.98) | (9.13) (3.98) | | |
| | | 8:40 | 4.30 | | | | |
| | | 17:30 | 3.96 | | | | |
| '73 | 1 | 24 | 17:00 | 9.13 | 5.942** (n=12) | 5.967 (n=12) | |
| | | | 2 | 23 | | | 16:10 |
| | 5 | 9 | 19:20 | 6.67 | | | |
| | | | 22:30 | 5.31 | | | |
| | 5 | 10 | 0:40 | 5.69 | | | |
| | | | 4:00 | 5.80 | | | |
| | | | 6:00 | 7.03 | | | |
| | | | 7:10 | 6.42 | | | |
| | | | 8:30 | 6.12 | | | |
| | | | 10:30 | 6.23 | | | |
| | | | 12:45 | 6.05 | | | |
| '73 | 5 | 21 | 14:00 | 2.65 | 2.59 (n=2) | 2.595 | |
| | | | 14:40 | 2.54 | | | |
| | 5 | 23 | 14:00 | 2.55 | 2.386 (n=11) | 2.408 | |
| | | | 17:00 | 2.92 | | | |
| | | | 19:30 | 2.84 | | | |
| | " | " | 21:40 | 2.05 | | | |
| | | | 23:30 | 2.18 | | | |
| | 5 | 24 | 3:30 | 2.54 | | | |
| | | | 5:30 | 2.60 | | | |
| 7:40 | | | 2.39 | | | | |
| 9:20 | | | 2.26 | | | | |
| 11:30 | | | 1.79 | | | | |
| 6 | 15 | 16:20 | 1.89 | (1.89) | (1.89) | | |
| | | 9 | 4 | 11:20 | 9.72** | (9.72) | (9.72) |

註 * 小雨時の測定値 **雨後の測定値

一連の連続観測を一回として $\bar{x}G$ の値の幾何平均 $\bar{x}G$ (Total)をとると

$$\bar{x}G \text{ (Total)} = 4.0198$$

流量の単位： m^3/sec 、()は一回だけの測定値を示す。

$\bar{x}G$ ：幾何平均値、 $\bar{x}A$ ：算術平均値、 σ ：標準偏差、 n ：試料数

3-1-3-5 流量測定結果の考察

以上にのべた流量測定の回数はかならずしも多くはない。しかし従来鹿児島湾に流入する河川のうち測定値のあるのはごく1~2の河川だけで、流量測定がおこなわれたという話はあるとしてもその資料の保存が十分でなく、結局確実な資料がえられなかったことを考えれば、このくらいの回数測定しえたことの意義は十分にあるであろう。

最近工業用水道用に取水がはじめられた鹿児島市内河川永田川の場合にも、設計にあたった鹿児島県当事者も、過去の資料がないために大変苦労したと聞いている。

ましてや同時に採水し、水質分析をおこなった例はほとんどなかったといってもよいから、これは物質移動量推定のはじめでの具体的測定例といってもよいであろう。

なお総流量49.42という値はこの2年間の平水位~濁水位を主とする各河川の平均の流量と考えられるが、絶対値としてはどうであろうか。文献にある南九州河川の平均流量として濁水量178.2、低水量279、平水量455(単位は $m^3/sec \cdot km^2$)をとり、対象とした全河川の全流域面積に乗じてみるとオーダーとしては $49m^3/sec$ と調和する結果がえられる。

流域全面積に平均降水量を乗じてもオーダーとしては以上の値が大体妥当なものであることがわかる。

個々の河川の流量、したがって物質移動量を論ずるには個々の河川の流量が大切であるが大勢を論じるためには河川をいくつかのグループに分けて論じることが必要である。地形、人口の分布、高次の人間活動の分布などをも考慮して河川を4つのグループにわけてみる。(第1表)

すなわち薩摩半島南の成川-障子川のグループ(第1グループ、グループI)、和田川-稲荷川のグループ(第2グループ、グループII)、(これは鹿児島市内の河川グループ)、思川-仏石川のグループ(第3グループ、グループIII)、(これは湾奥部に流入する河川グループである)、および大隅半島南部の小浜川-伊座敷川のグループ(第4グループ、グループIV)

に分ける。

このようにグループ分けして、それぞれのグループに属する河川の平均流量の和(第1表に示してある)を求めてみると、それぞれのグループの流域面積比によく対応している。このことは次章の第4表に示されている。

これらも考えあわせるとき、これらの流量の測定結果は、物質移動量の論拠としては十分役立つものと考えられる。

降雨の影響は当然流量に影響するわけであるが、降雨の影響が全くなくても、人間活動による取水が流量に影響を及ぼした例がある。第3表に示した甲突川の12月5日の測定例をみよう。この日の12:30から20:30の間にはとくにはげしい流量の変動があり、測定中に河川中で実感として感ぜられるぐらいであった。この間には降雨もなく、潮汐の影響もなかった。

この原因をいろいろ吟味した結果上流こにある河頭浄水場の取水操作のつごうであることが判明した。取水という人間活動が流量に影響をおよぼしたわけである。

工場などにおける取水、その逆の排水などもつねに一樣におこなわれるとは限らないから、甲突川のような都市貫流河川の場合にはこの程度の流量の変動は降雨という自然条件の変化がなくともおこりうることを十分考慮に入れておく必要があるだろう。

さらにこまかく第3表をみると12月5日の深夜から12月6日の早朝にかけて流量が極小となりふたたび増加する傾向がみえる。この原因についてはよくわからないが、深夜にはなく早朝からはじまる人間活動のひとつとしての地下水の揚水その河川への放流がひとつの原因である可能性がある。われわれは以下このような事実をふまえて物質移動量の論議をおこなうことにする。

3-1-4 河川経由の汚染物質移動量

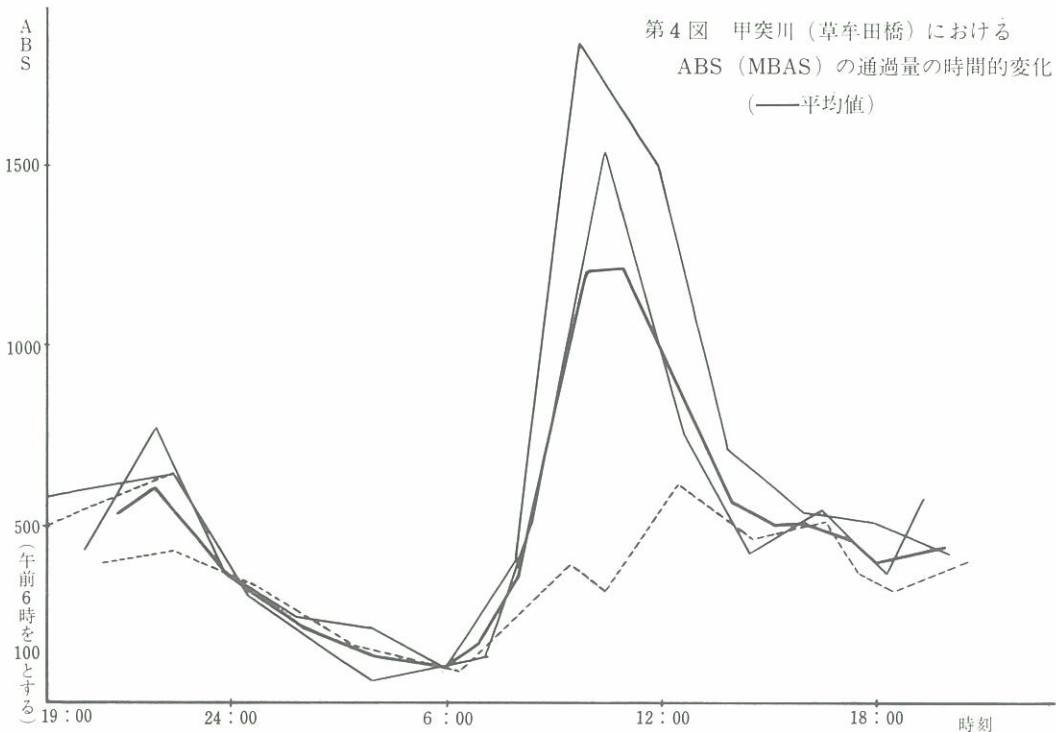
さきにリン(リン酸イオン態)についてのべたようにたとえば甲突川において一般に汚染成分の含有量は右岸、左岸、流心によって差異があるほか、採水時刻によっても差があるのが通常である。

しかし、つねに24時間をとおしての採水では

きないので、含有量の変化のパターンをあらためてしらべておく必要がある。さきに分析項目のところでのべたような成分についてわれわれは変化のパターンの類型を調査した。調査は主として甲突川について行なわれた。第4図には甲突川(草牟田橋)におけるABS(MBAS)の通過量(下流への負荷量)の時間的变化を示す。3回の測定は傾向においてほとんど差がなく、太線で示したものが平均値である。このような変化のパターンを他の多くの成分についても調査し、任意の時間の測定値を、ある一定時刻の負荷量に換算する表、また1日の負荷量に換算する表を作製し使用した。図をみればあきらかなように、ABS(MBAS)は午前6時頃に通過量が極小になっている。この定点

までに到達する平均供給源からの所要時間を考えると、午前0時~6時の間に放出量が極小になると考えられ、ABSの使用目的を考えるとこれは妥当な傾向といえる。他の多くの成分についてもほぼ同様のパターンがえられている。

とくにABSのように人間活動との関連がはっきりしているものでこのことがもっとも明瞭である。注意しなければならないのは極大のみられる時刻付近の測定は誤差が大きくなる可能性のあることで、一回だけ採水する場合2~3回採水する場合はこのような変化のパターンを十分心得て採水しなければならない。いつ採水するかは成分によって、河川によって、厳密に言えばことなる対策を考えなければならない。



3-2 河川経由の汚染物質移動量の解析

3-2-1 内湾水域のグループわけと流入河川のグループわけ

さきにものべたように鹿児島湾の地形、人口の分布、工業活動など高次の人間活動の集中している地域がどのような所にあるかなどを考慮して河川をⅠ~Ⅳのグループにわけた。ⅠとⅣ

は鹿児島湾の南部、海水の更新速度ものもっとも大きい地域に流入しているわけであり、Ⅱは鹿児島市を中心とした人口の集中しているところ、高次の人間活動が集中しているところを貫流して鹿児島湾中央部、すなわち桜島火山が存在しもっとも狭くなっているところの西南部に近く流入している。Ⅲグループはいうまでもな

く、湾奥部に流入している河川グループである。(第1表および第2図)

このように河川のグループわけは、内湾の各水域に対応しているわけであるから、この対応をつねに考慮しながらいろいろな汚染物質の移動量、流入量を考察する必要がある。

3-2-2 河川グループ別の汚染物質移動量のパターン

われわれの目的は個々の汚染物質排水源を論ずるよりも、地区全体としてその流入沿岸海域にどのくらいの負荷量をあたえるかを一あたえているかを知ることになる。どの地区の河川経由の汚染物質の供給量をもっとも大きいかを実証的にあきらかにすることにある。

流量の測定結果の考察の項でものべたようにグループわけをしたのもこのような目的のために他ならない。

1972年～1974年にわたって流量測定と採水とを同時におこない、実験室にもちかえて分析した結果に対し、成分ごとに含有量の変化(負荷量の変化)のパターンにもとづき補正し、平均負荷量を求め、それを平均し、各河川の平均負荷量とし、それらをグループごとにまとめた

結果が第4表である。第4表についてみてみよう。

まずあきらかなことは予想されたことではあるが第2グループの河川群の負荷量をもっとも大きいことで、成分別にみるとABSでは93.6%に達している、鉱物油負荷、Zn負荷もそれぞれ80.5%、78.8%とそれぞれの成分のうち最大の寄与をしていることになる。これは表に示したように流域人口が環鹿児島湾域のうち70%ちかく集中している鹿児島市を貫流していること、人間活動の程度をもっとも高次であることから当然かも知れない。

第IIグループの流量は全体の16%程度にしすぎないのにこのように大きい寄与をしているわけで、鹿児島湾全体を平均的なものと考えてもその責任はきわめて大きい。

しかもくりかえしのべてきたようにグループIIは湾奥部にちかい所に流入しているのであるからさらに問題が大きくなるのである。このことは後述する対応海域の表面海水の水質調査の結果ともよく対応している。

さらに問題であることはいま論じているIIグループの負荷量が、河川経由、のそれであると

第4表 環鹿児島湾地域から河川経由で流入する各種汚染物質の負荷量(1972-1974の測定にもとづく)

| 河川グループ | 流域面積 | 流量 | 流域人口 | BOD負荷 | リン負荷 | ABS負荷 | 鉱物油負荷 | Zn負荷 | 備考 |
|--------|--------------------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|
| 第1表参照 | km ² (割合%) | m ³ /sec (割合%) | 万人 (割合%) | g/sec (寄与率%) | mg/sec (寄与率%) | mg/sec (寄与率%) | mg/sec (寄与率%) | mg/sec (寄与率%) | |
| I | 149 (8.9%) | 3.24 (6.6%) | 3.1 (4.6%) | 55.9 (20%) | 215 (9.5%) | 27.7 (0.6%) | 120 (3.1%) | 140 (4.8%) | |
| II | 256 (15.4%) | 8.14 (16.5%) | 45 (66.4%) | 154.7 (55.7%) | 1397 (61.6%) | 4350 (93.6%) | 3100 (80.5%) | 2300 (78.8%) | 錦江污水处理場を含む |
| III | 871 (52.3%) | 26.1 (52.8%) | 15 (22.1%) | 18.1 (6.5%) | 415 (18.3%) | 234 (5.0%) | 270 (7.0%) | 220 (7.5%) | |
| IV | 390 (23.4%) | 11.9 (24.1%) | 4.7 (6.9%) | 49.2 (17.7%) | 241 (10.6%) | 38.5 (0.8%) | 360 (9.4%) | 260 (8.9%) | |
| 合計 | 1666 (100%) | 49.4 (100%) | 67.8 (100%) | 277.9 (100%) | 2268 (100%) | 4650 (100%) | 3850 (100%) | 2920 (100%) | |

備考 別表 1973年末
(第1表) 推定人口 1973年9月の測定

いうことである。たしかに錦江污水处理場もひとつの河川として考慮にいれてはいるが、その他にもまだ脇田処理場の排水もあり、さらに鹿児島市南部の臨海工場地帯からの直接の流入ははいっていないということを忘れてはならない。

現在2号用地内に工場の移管、新設が着々と進行しつつあり、その結果、内陸部からの工場排水の放出は少なくなり、市内河川の環境は次第に改善されつつあるともいわれる。しかし工場からの直接の放流は排出基準はあるにせよまだ総量規制をかけられるにまでには至っていない。

今後は鹿児島湾の環境保全をはかるとすれば直接の流入（工場等からの）について十二分の管理と監視をおこない、脇田処理場の排水の寄与も問題とする必要がある。工業用下水道によって共同処理するとしてもその排水はやはりひとつの汚染寄与のあることを忘れてはならない。活性汚泥処理にとどまる限り単なる水が排出されるわけではないからである。

3-2-3 河川グループ別の汚染物質移動量の供給源の解析

第4表に示された結果だけからは前節に示した程度の大まかな寄与率の論議しかできないしまた先にのべた採水地点（流量測定その他のつごうによる）をかならずしも河口ぎりぎりをもってこなかったことについての補正が十分でない。

多少結果を吟味してみよう。

自然に存在しない成分で、純粹に人間活動にもとづく成分としてABSがある。

人間（日本人）は1日平均2.7g程度のABSを使用しているといわれる。（半谷高久：水質汚染機構）。この値を採用すると1時間あたり0.031mgのABSを放出することになる。流域の人口はかならずしも実人口（昼間移動人口、旅行観光客などを含めた）をあらわしてはいない。たとえばこの平均値を使用して各グループの計算ABS負荷を出してみると次のようになる。

| | |
|---------|-------------|
| 第Iグループ | 961mg/sec |
| 第IIグループ | 13950mg/sec |

第IIIグループ 4650mg/sec

第IVグループ 1457mg/sec

それぞれ実例にもとづく値は2.9%, 3.1%, 5.0%, 2.6%と計算値より小さくなっており、IIグループの^{*}捕捉率、がかなりの値であるほかは3~5%程度にすぎない。これはABS(MBAS)が排出されたあと急速に分解するか吸着されて土壌、河床等に吸着されるか、採水点が都市活動の中心よりやや上流にえらばれたためかいずれかの原因、あるいはそれらの原因がかさなったものと考えられる。鹿児島市における捕捉率が高いのは錦江污水处理場の排水も分析しこの負荷量も加えているためであって、錦江污水处理場の排水がABSを含み、その処理が完全でないために問題となっていることはつねに新聞等にも報道されることである。

同様なことをリンについて考えてみよう。小林純博士（岡山大学）などの研究によると東北地方のし尿の直接調査により日本人1日あたりの無機物排出量は10.6gであるといわれる（平均）

そのうち

| | |
|------------------|----------|
| ナトリウム | 2.7 g |
| 塩素（塩化物態） | 4.0 g |
| カルシウム | 0.37 g |
| マグネシウム | 0.16 g |
| カリウム | 0.97 g |
| [*] リン、 | 0.48 g |
| イオウ | 0.2 g |
| 鉄 | 26.0 mg |
| 亜鉛 | 10.0 mg |
| マンガン | 3.7 mg |
| 銅 | 2.5 mg |
| 鉛 | 0.23 mg |
| ニッケル | 0.20 mg |
| カドミウム | 0.033 mg |

であるという。

このうち^{*}リン、の0.48gがすべて可溶性のリン酸態で放出されるわけではないが（活性汚泥処理により逆に可溶性のリン酸イオンは増加するといわれている）もし10%程度が可溶態のものとして仮定すると、リンの放出量1日、1人あたり0.048g、1秒に換算すると0.556μgと

なる。

したがって各グループの計算上のリン負荷は

| | |
|--------|------------|
| 第Ⅰグループ | 17.2mg/sec |
| 第Ⅱグループ | 250 mg/sec |
| 第Ⅲグループ | 83.4mg/sec |
| 第Ⅳグループ | 26.1mg/sec |

となり

第Ⅰグループでは実測値の8.1%，第Ⅱグループでは18%，第Ⅲグループでは20%，第Ⅳグループでは10.8%程度とABSの場合とはことななって計算値のほうが小さくなっている。

これについてABSと同様に捕捉率が必ずしも100%でないことを考えるとつぎのような原因が考えられよう。

リンの放出量の10%が可溶性とした仮定が小さすぎたか（しかしいずれにしてもそう大きい割合ではない）他のリンの供給源しかも可溶性のものがあるのか，人間以外に人間と同様にリンを放出する生物がいるためかいずれかであろう。第2の要因としては洗剤中に加えられているポリリン酸イオンが環境中に放出されてリン酸となるものかも知れないし，また清涼飲料中に加えられているオルトリン酸を考慮に入れるべきかも知れない。むしろ家畜のし尿からの寄与が大きいかも知れない，成豚1頭は20人に相当するBOD負荷をし尿で排出するという。リンもこのような割合が成り立つとすると流域のみかけの人口だけではなく，流域にどのような規模の畜産活動が現存するかを考慮に入れる必要があるだろう。われわれはくりかえし各種の人間活動を考慮に入れて環境への汚染物質負荷量を算出しなければならないことを強調しているのはこのような具体的な例に接することが原因であり，とくにリンは營養塩として内湾海水汚濁の要素として重要であるから，注意をはらう必要があるわけである。

BOD負荷が第Ⅰグループ，第Ⅳグループにおいて，人口の割合より大きくなっている原因は，やはり流域の畜産活動等が原因のひとつになっていると考えられる。

まったく同様な操作で鉍物油の負荷についても解析ができるが，ここでは大勢として第Ⅱグループの河川の寄与が最大であることを指摘す

るにとどめておく。さきにものべたようにこれは河川経由の汚濁負荷量で，直接の流入などは含まれていない。工業地帯の港内などがかなり鉍物油でよごれていることはのちほどの海水表面水の調査結果の項でのべるので省くがこれは第Ⅱグループの河川付近での直接の流入でありこの地帯の汚濁負荷の割合はこれと加えるときさらに大きくなることはたしかである。

最後にⅢグループの河川の流域について火山活動（直接の）の影響を考えてみよう。

Ⅲグループの河川のなかには流域に温泉の湧出のあるものがある。天降川（新川）がその代表的なものである。

温泉の湧出量，重金属含有量については筆者らによってくわしく調査されているので自然活動のうちの火山活動—温泉活動の形態でのがどのくらいの割合を占めているか大勢を知ることができる。第5表にその結果を示す。第4表の亜鉛の負荷量（霧島火山地方の温泉はⅢグループの流域，指宿温泉はⅠグループの流域に湧出）とくらべるとわずかに2～3%程度である。温泉水中の銅，鉛，鉛，カドミウムなどの分布は亜鉛ときわめて強い正の相関を示すことが知られているので，他の重金属についても同様のことがいえると思う。

第5表 霧島火山地方，指宿地方から温泉によって鹿児島湾にはこびだされる重金属の量（平均）（鎌田政明，坂元隼雄1973年）

| | 霧島火山地方の温泉から | 指宿温泉から |
|------------|-------------|------------|
| 亜鉛 (Zn) | 3.9 mg/sec | 2.8 mg/sec |
| 銅 (Cu) | 0.25 | 0.15 |
| 鉛 (Pb) | 0.16 | (0.13) |
| カドミウム (Cd) | 0.013 | (0.015) |

4. 大気圏経由の汚染物質の供給量

4-1 大気圏経由の汚染物質の供給の諸相

大気の化学組成はそれが「自然」の状態である限りおおよそのことがわかっており，窒素，酸素，アルゴン，二酸化炭素，水蒸気などのほかの気体成分，浮遊する微粒子（固体のものほか，液体のものもある）から成っていること

はよく知られている。

しかしこれは大観してのことであって、自然の活動は地球表層部で決して均一なものではなく、時間的、空間的に短かいあるいは狭い範囲ではたえず変動していることを忘れてはならない。

いま対象にしている鹿児島湾を中心とした地域に限れば、自然活動のひとつとしての桜島火山南岳の活動を忘れるわけにはいかない。この活火山は昭和30年（1955年）10月13日に活動を再開してから、20年ちかくのあいだ、活動を間欠的にくりかえし、今日にいたっている。この活動は有史以来の活動としても、長期間継続したものとしては有数のものであるといわれており、鹿児島湾域にいろいろな影響をあたえている。

すなわち溶岩流の流出こそないものの、しばしば火山弾、噴石を近くの山麓に飛ばして各種の被害をあたえているほか、多量の火山灰をふらせ、農作物に多大の被害をおよぼし、近隣住民の健康にも不安がもたれている現状である。

この火山灰の噴出総量は、筆者の推算によれば昭和49年3月現在までに（昭和30年10月以降）およそ1億（ 10^8 ）トンに達したものと恐れ、直接地表に、水圏に、あるいは大気圏にさまざまな影響をあたえてきている。

そもそも大気汚染とは、ふつうの意味では「自然」の状態に人間活動の影響がオーバーラップして生じるもので、その意味ではこのような火山噴出物—火山灰—による汚染は一種の自然災害ともいえるだろう。したがってこれは一時のものでそのうちに納まるであろうという観測が一般的であり、筆者もそのようなみかたに立っていたのであるが19年間も（断続的とはいえず）つづくとなるとはや「そのうちに」とはすまされなくなったというのが実状である。

人間の活動によって大気中に放出される汚染物質にはさまざまなものがあるが、いおう酸化物（ SO_2 、 SO_3 ）（主として重油の燃焼によって発生する）、 NO 、 NO_2 などの窒素酸化物（石炭、石油などの燃焼によって発生、ビル、および自動車などが汚染源）、 CO （自動車が汚染源）、フッ化水素（アルミニウム、製錬工場

などから発生）などの気体から、粒子の大小はあるが、浮遊ふんじん、降下ばいじんと区別される主として固体の物質（各種の重合層およびその化合物の場合もある）に大別される。

これら気体、固体の汚染物質の環境への影響はさまざまであり、大気圏そのものの質をかえるほか、水圏の水質に影響をあたえることもある。鎌田、大西らがかつて甲突川の長期観測中に桜島の活動がはじまり、甲突川の水質の変化を把握した例、おなじく降水の化学組成に変化をみとめた例などはその1例であろう。

鹿児島湾域の沿岸部には工業活動はまだ高度の段階に達していないから把握はむづかしいかも知れないが、東京湾の海水中に異常にバナジウムの含有量が高く、これが沿岸地域の工業活動などの影響と推測されている例、東京都ではしばしば酸性の雨が降る例などは環境の水質がはっきりと人間活動の影響をうけた実例である。

鹿児島市など湾をかこむ地域の一部では大気汚染の系統的調査がようやくはじまっており、鹿児島湾周辺の大気圏経由の汚染物質の供給のあり方には次第に究明の手がさしのべられつつある。

4-2 火山活動による大気圏への汚染物質の供給

前節で、火山活動の影響が主として、火山灰によってかなり深刻であることをのべたがこの点をもうすこしくわしく論じてみよう。

火山活動によっていろいろの物質が環境に放出されることが知られている。放出される時点で気体であるものを火山発散物というが放出後いろいろな相に分化し、大別すれば火山ガスと火山昇華物と火山ガス凝縮水となる。気体、固体、液体というわけである。これらはどれをとっても環境にある程度の影響をあたえるが、火山灰に関連させて考えれば、多かれすくなかれ関係をもっている。火山発散物として放出されたのちガスとなるものは拡散され捕捉しにくいわけであるが一部は火山灰の表面に付着もしくは吸着のかたちで残存しており、火山灰をさらべることによってその化学組成を推定する手がかりになることが期待される。火山灰と熱いガ

スは、かつて「共存」していた物質同志だからである。火山昇華物、火山ガス凝縮水は凝縮相だからなおさら火山灰の表面に付着あるいは吸着されやすいだろう。つまり火山灰を調査することによってそのような火山発散物についての知見をうる可能性が大きいであろうと思われる。

火山灰を岩石—火山岩—としてみてみよう。いわゆる本質的な火山灰というよび方がある。これはいわゆるマグマの直接の由来物という意味である。この意味ではわれわれの実際に観察あるいは採取の容易な溶岩流の粉末あるいはそれに近いものと考えることができる。

しかし実際に桜島火山の周囲で採取される火山灰がすべて本質的な火山灰であるわけではない。むしろ、火山ガスなどの二次的な作用によって火道、あるいは火口内で変形した岩石粉末であることが多い。この場合、岩石には火山岩のほか壁岩を構成する堆積岩などが含まれることも多い。

そして（単純化すれば）このような相のうえに先述した火山昇華物、火山ガス凝縮水が付着したものがこれが現実採取される火山灰なのである。

このような観点にたち筆者らは火山学的な意味での火山灰の研究を1955年以降つづけてきたのであるが、近年これにくわえて環境汚染の一因子としてみなおす必要が生じてきた。

さきに大気汚染物質として気体、固体のいろいろな化学種の名をあげてきたが、その中に含まれるイオウ酸化物、フッ素（フッ化水素）、重金属元素などはいずれも火山灰のなかに検出される化学種であるからである。

現在筆者、坂元隼雄らはとくに重金属元素（亜鉛、銅、鉛、カドミウムなど）について詳細な検討を加えつつあるが、供給量の総量はともかくとして、さきにのべたように短い時間、せまい範囲への影響は無視できない場合があり健康への影響は別として火山灰のなかに含まれる一部の重金属の影響ではないかと思われる建築材料（たとえば、農業用ビニールフィルムなど）の被害例などもみいだされている。

火山活動が継続しているといっても、休止期

間をはさんでの活動であるから、長期的な観測には困難がともなう。「万全」の体制をそのためにだけ用意することが実践上はなほだ困難である。

しかしさいわいなことに鹿児島市、あるいは大隅半島の一部では降下ばいじんの観測が他の目的（大気汚染の調査）のためにつづけられており、われわれはこれらの資料のなかから、火山灰の大気汚染におよぼす影響がいかに大きいかと具体的に知ることができる。

たとえば鹿児島市の委託によっておこなわれた鹿大工学部の小牧高志助教授の研究によれば鹿児島市内の降下ばいじん量は、活動の休止期間中とくに、 $10\text{ton}/\text{km}^2\text{month}$ 以下であるが、活動期間中には、数十トンのオーダーになることはふつうで観測点によっては数百トンのオーダーになることもめずらしくない。桜島の山麓になると、 $2,000\text{ton}/\text{km}^2\text{month}$ にもなり、いかに深刻な影響を環境にあたえているかがわかる。

われわれは火山灰の総噴出量についての十分正確な情報がなく、またいろいろの汚染物質についての十分正確な分析値をまだ把握していないので、量的にどのくらいの影響が環境におよんだか、各汚染物質についてのくわしい考察ができないけれども、今後このような基礎的な資料が充実すれば（噴出火山灰の量と分析値）、そのような推算も可能となるのであろう。そして大気圏経由の汚染物質の供給量の割合がどのくらいのものかの論議が可能となるう。