

鹿児島湾海水中的の水銀含有量

| | |
|----------|---|
| 著者 | 坂元 隼雄, 鎌田 政明 |
| 雑誌名 | 鹿児島大学理学部紀要. 数学・物理学・化学 |
| 巻 | 19 |
| ページ | 49-68 |
| 別言語のタイトル | Mercury content in sea waters of the Kagoshima Bay |
| URL | http://hdl.handle.net/10232/00010049 |

鹿児島湾海水中的水銀含有量

坂元 隼雄*・鎌田 政明*

(1986年9月10日受理)

Mercury content in sea waters of the Kagoshima Bay

Hayao SAKAMOTO and Masaakira KAMADA

Abstract

The mercury content of low-polluted sea water is very low, on a ppt or sub ppb level. It is very difficult to get precise and reliable data on them. It is, therefore, necessary to check the reliability of the analytical procedure employed using an interlaboratory comparison program.

The recommended procedures are as follows ; (a) A sea water sample is acidified with sulfuric acid and then mercury is reduced with tin (II) chloride.

Nitrogen gas is passed through the sample solution and any mercury evolved is trapped on porous gold collector and determined by cold vapor atomic absorption spectrometry. (b) Sea water samples are treated with sodium hydroxide, copper (II) ions and tin (II) chloride, and the mercury is determined as in (a). (c) Sea water samples are treated with a mixture of sulfuric acid and potassium peroxodisulfate solution and heated on a water bath, followed by (a).

Dissolved inorganic mercury, dissolved inorganic mercury plus a part of the organic mercury and suspended mercury, and the total mercury can be determined by procedures (a), (b) and (c), respectively.

Sea water samples were collected from Kagoshima Bay during the period 1975-1983 and the distribution of mercury and its various chemical forms were investigated. Levels of mercury determined by procedures (a), (b) and (c) were found to be in the range of 0.2~10.5 (mean 2.1), 0.6~13.4 (mean 2.9) and 1.0~17.6ng/l (mean 6.1ng/l) for 47~87 samples taken from Kagoshima Bay.

1. 緒 言

鹿児島湾は低汚染内湾の一つと言われていた。昭和48年11月、鹿児島湾北部の牛根地区で漁獲されたタチウオから「魚介類の水銀の暫定規制値 (0.4 ppm)」を越えるいわゆる水銀汚染魚¹⁾が見つかった。その後、他の魚種についても調査が行なわれ、現在までに、10魚種 (タチウオ、ソコイトヨリ、マアジ、キアマダイ、マアナゴ、オオメハタ、アオリイカ、アカカマス、ヤガタイサキ、ゴチ) について漁獲の自主規制が継続されている²⁾。

このような状況に対して、国、県の援助のもとに、鹿児島湾の水質³⁾⁻⁵⁾や魚類^{6),7)}などの水銀汚染の調査、汚染源の調査³⁾、地元住民の健康調査^{8),9)}などが行われた。また、1975年に、文部

* 鹿児島大学理学部化学教室 (Department of Chemistry, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima 890, Japan.)

省総合研究「桜島火山海底噴火による鹿児島湾北部の環境変化に関する研究」(代表者 小坂文予), 1976年に, 文部省総合研究「海底火山活動による桜島北部海域の環境変化に関する研究」(代表者 鎌田政明) が実施されその結果¹⁰⁾⁻¹²⁾が報告されている。さらに, 1978・1979年に環境科学特別研究「鹿児島湾魚類の水銀濃縮の機構」の研究班(代表者 坪田博行)が組織され, その成果が坪田ら^{13),14)}により報告されている。しかし, これらの研究にもかかわらず, 水銀汚染魚出現の機構については十分に解明されていない。

著者らは, 鹿児島湾の海洋環境に海底火山活動が関係しているという認識のもとに, 火山活動の産物である揮発性成分, 特に水銀, ヒ素およびアンチモンなどに注目し, 湾内の海水と底質中のこれらの成分の含有量と分布について調べ, 報告^{15),16)}した。本研究では, 1975年から1983年間の鹿児島湾海水中的水銀含有量とその存在形態について調べた結果を報告する。

2. 実 験

2. 1 海水試料の採取と保存

鹿児島湾内の海水試料は図6, 7に示した場所で採取し, 各水質要素の中で水銀を中心として分析した。

試料を採取する器具は水銀で汚染されていないガラス器具が望ましいが, 破損の恐れがあるのでテフロンかポリエチレン(硝酸につけて水銀の溶出のないことを確かめたもの)を使用する。また深さをかえて試料を採取するには, ポリプロピレン製バンドン採水器を船上からステンレスワイヤーでつるして使用した。

採取した試料の保存容器は, テフロンパッキング付きの良質の硬質ガラスビン(ギヤマン製)(あらかじめ約3 mol/lの硝酸で2週間以上浸出し, 十分に水洗したもの)を使用する。試料水を採取後, 試料1 lにつき硫酸(1:1)(有害金属測定用)10mlを加え密栓保存し, 分析試料とした。

水銀などの重金属を含む試料水中の浮遊物(懸濁物)を分離する目的で, ミリポアフィルターなどの口材を用いる際は, 口材への吸着, 口材からの溶出に注意する必要がある。特に, 水銀は実験室環境(大気)からの汚染の防止につとめ, 使用する大気(空気)を活性炭の中に通し, 水銀を除去したクリーンベンチ等の中で口過する。

2. 2 試薬および装置

試薬および装置は, 前報^{15),17)}と同じものを使用した。

2. 3 海水中的水銀の定量法

海水中的水銀含有量は数 ng/l と普通の蒸留水に匹敵するレベルであり, その存在形態についてはあまりはっきりとしたことが分かっていない。これは水銀のレベルが低いことと関連している。

従来, 液体試料中の総水銀¹⁸⁾⁻²¹⁾を冷原子吸光光度法で, 有機水銀^{22),23)}をガスクロマトグラフ法で定量する方法が用いられている。これらの二つの定量法を併用するのは時間もかかり, 操作も煩雑である。

本研究では, 液体試料中の水銀の定量法としてジチゾン-クロロホルム抽出法¹⁷⁾(図1)(この方法により溶解性の無機水銀と有機水銀が定量できる)と Magos²⁴⁾, 梅崎²⁵⁾ら, 鎌田ら²⁶⁾の

方法に多孔質金捕集剤を用い、水銀蒸気の濃縮を試み、水銀の存在形態を含めた定量法を詳細に検討した¹⁵⁾。1975～1978年の海水試料には図1を、1979～1983年の試料には図2～4に示した各態別の水銀の定量法を用いた。

図2により溶解性の無機水銀、図3により溶解性の無機水銀と有機水銀の一部の含量が定量できる。さらに図4により総水銀が定量できる。

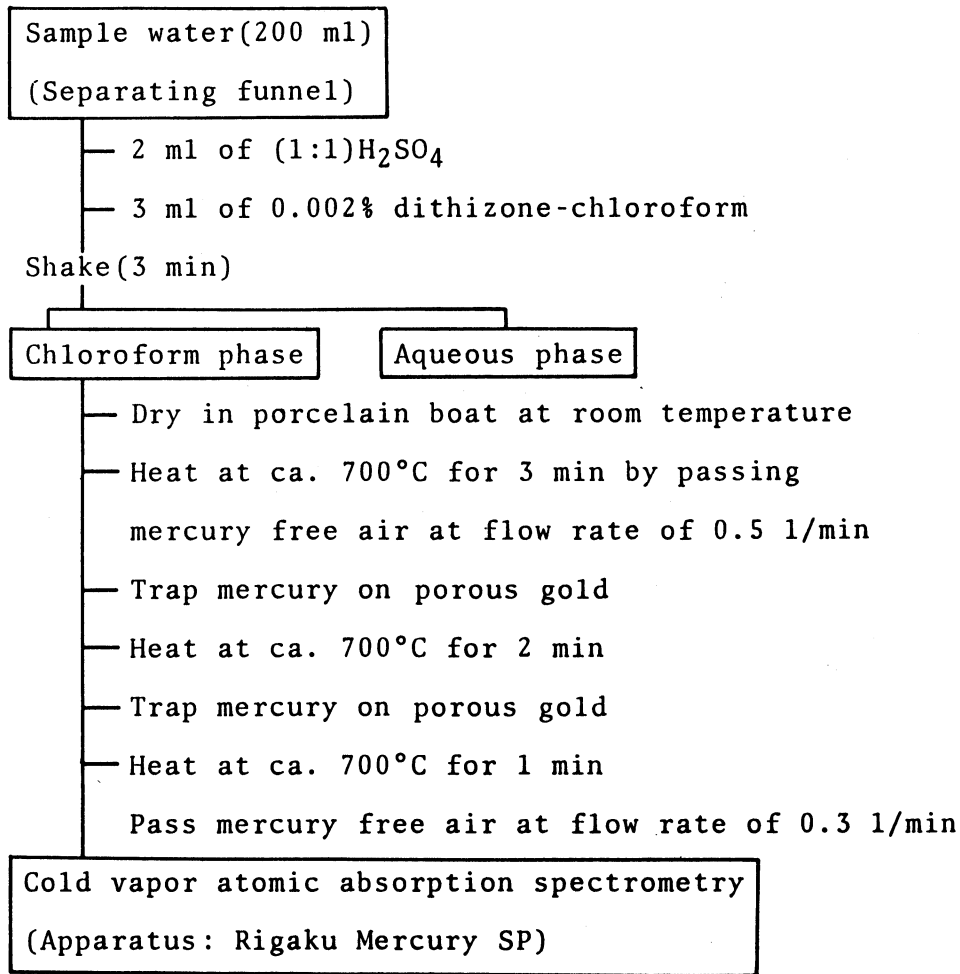


Fig. 1. Analytical procedure of total mercury dissolved in sea water sample.

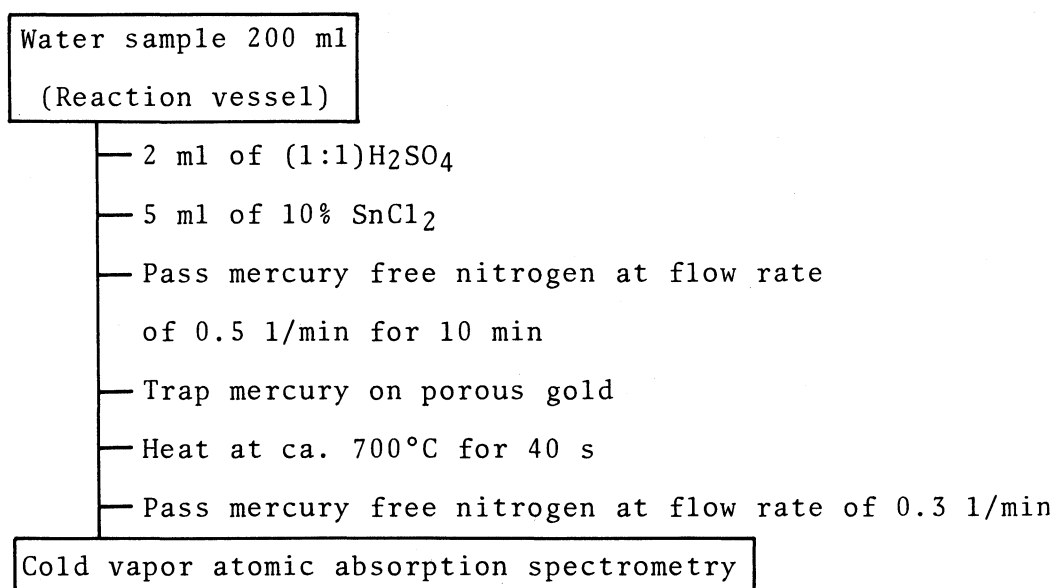


Fig. 2. Analytical procedure of inorganic mercury in sea water sample. [Method I]

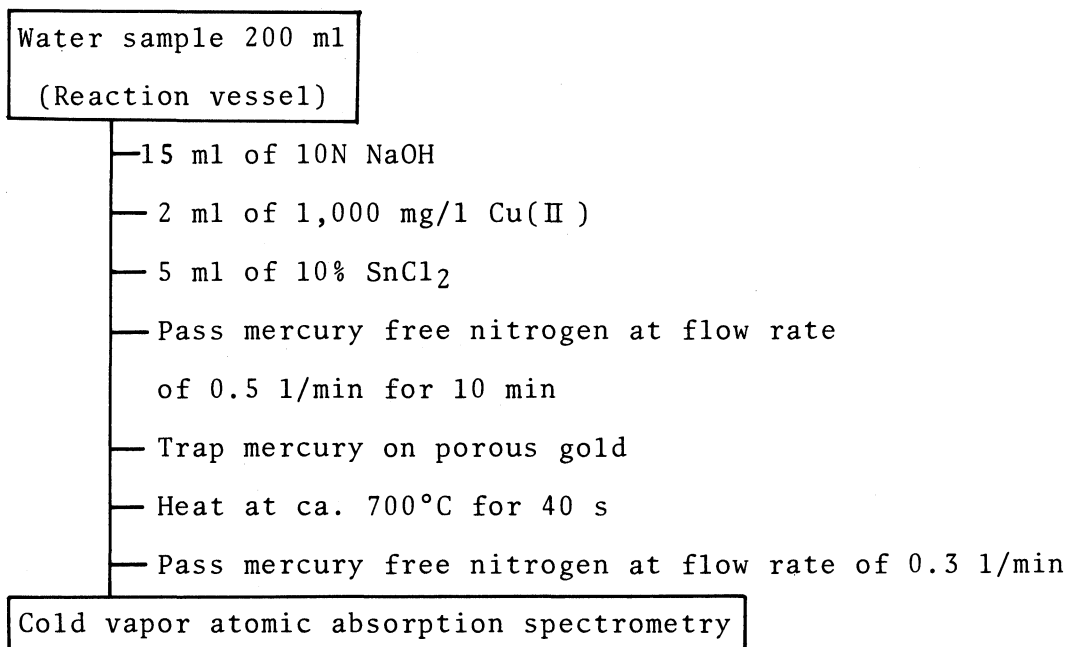


Fig. 3. Analytical procedure of total mercury dissolved in sea water sample. [Method II]

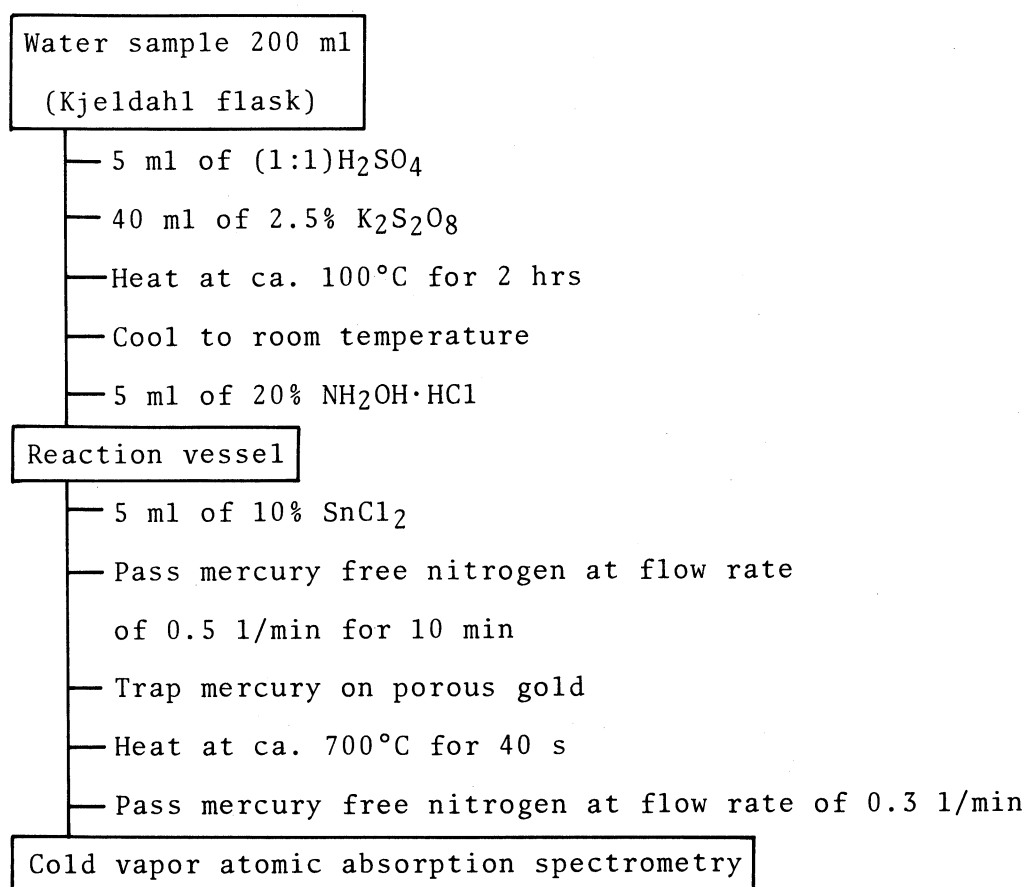


Fig. 4. Analytical procedure of total mercury dissolved and suspended water sample. [Method III]

3. 結果と考察

3. 1 鹿兒島湾の海況

鹿兒島湾は南から北へ深く湾入した細長い内湾（南北約80km，東西約20km）である。その中央以北の海底地形は図5に示すように特異な海底地形をしている。本研究では，鹿兒島市と桜島を結ぶ線よりも北を湾北部，南を湾南部，その中間を湾中央部と別けて議論する。湾北部と湾中央部の間には桜島火山が存在し，両海域は水深約40mの西桜島水道でつながっている。このような海底地形のため，水深140～200mにもおよぶ湾北部の海水と外洋水との交換は容易ではない。湾としても複雑な海底地形をしているので，人間活動や工業活動等による汚染の進行は海水の交換に大きく影響される。

また，湾北部（図5参照）のA，Bを中心として海底噴気活動が存在し，海洋環境にさまざまな影響²⁷⁾を及ぼしている。

3. 2 鹿兒島湾海水を用いた水銀のクロスチェック分析

環境問題に関連し水圏における微量有害元素の測定について，標準となるべき方法の開発，試

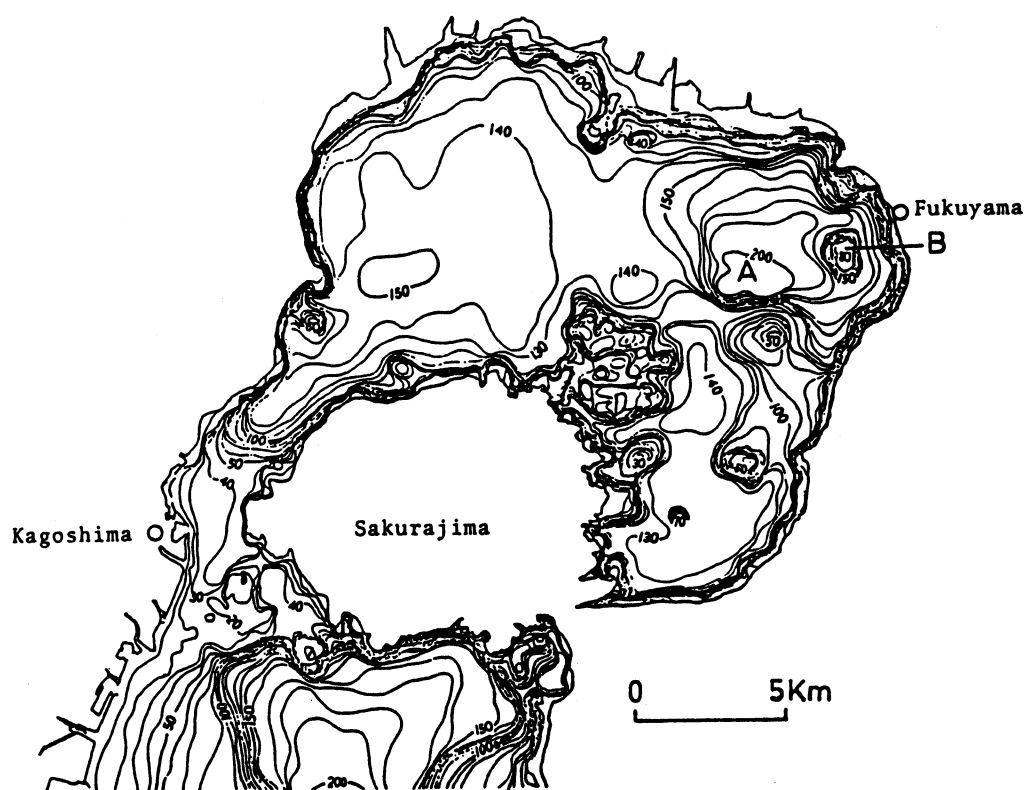


Fig. 5. Topographical map of northern Kagoshima Bay and the locations (A and B) where the submarine fumarolic activities were found.

料の採取，前処理，分析操作などを相互比較することによって，より正確な測定値を得ることを目的とした研究班が組織された。(故)菅原 健博士²⁸⁾，環境庁 [株式会社環境分析センター]²⁹⁾などが中心となり，海水や湖水などの共通試料を用いた水銀，カドミウムなどの超微量成分の相互比較検定が実施された。著者らは，このような研究班に参加した経験をもとにして鹿児島湾海水による水銀のクロスチェック分析を行った。著者ら (表1のA) 以外の2研究室は，水銀分析において実績をもっておられる研究室である。それらの結果を合わせて表1に示す。

この表の海水の分析法はいずれも冷原子吸光光度法であるが，前処理を含む分析操作の詳細は各研究室によって異なっている。著者らは，前処理として硫酸酸性の過マンガン酸カリウム溶液を用い，ジチゾンクロロホルム抽出-冷原子吸光光度法を使用した。ここに示されている3研究室による水銀の値は，一部を除くと比較的よく一致しているとみてよい。

3. 3 鹿児島湾海水中的水銀含有量

鹿児島湾海水試料の採取地点を図6，7に，水銀の分析結果を表2，3に示す。表2はジチゾンクロロホルム抽出-冷原子吸光光度法 (図1参照)，表3は塩化スズ (II) による還元気化-多孔質金捕集-冷原子吸光光度法 (図2~4参照) によるものである。

表2，3の試料の形態別の水銀分析値の算術平均値 (\bar{X}_A)，幾何平均値 (\bar{X}_G)，分析した試料の数 (n) をまとめて表4に示す。

鹿児島湾海水 (各層水を含む) 中の溶解性の総水銀含有量；ジチゾン抽出法，溶解性の無機水

Table 1 Results of the intercalibration of mercury by using the Kagoshima Bay sea water.

| Sample | Hg ng/l | | |
|-----------------------|---------|-----|------|
| Kagoshima Bay 10- 20m | 5.5 | 3.6 | 3.8 |
| " " " 100m | 5.0 | 3.6 | 7.3 |
| " " " 195m | 5.5 | 5.8 | 4.0 |
| " " 13- 10m | 3.0 | 2.7 | 3.6 |
| " " "- 50m | 9.0 | 6.0 | 4.2 |
| " " "-100m | 4.0 | 4.2 | 10.6 |
| " " "-150m | 5.0 | 8.0 | 6.7 |
| " " "-180m | 4.0 | - | 9.8 |
| " " "-200m | 9.0 | 6.2 | 7.3 |
| " " 17- 10m | 5.5 | - | 3.3 |
| " " "- 50m | 5.0 | 4.4 | 6.8 |
| " " "-100m | 4.0 | 5.5 | 4.3 |
| " " "-130m | 3.0 | 5.4 | 4.5 |
| " " 22- 20m | 5.0 | 4.7 | 3.6 |
| " " "- 80 | 4.5 | 5.5 | 6.0 |
| Laboratory | A | B | C |

銀含有量；方法（I），溶解性の無機水銀と有機水銀等の水銀含有量の和；方法（II），総水銀含有量；（III），の幾何平均値（海水中的の水銀の分布は対数正規分布をしており，算術平均値よりむしろ幾何平均値で示した方が現実的である）をみると，それぞれ11.1, 2.1, 2.9, 6.1 ng/lである。

鹿兒島湾海水の水銀含有量の幾何平均値は，表面水だけの平均値と，各層水を含めた平均値とにほとんど差がない。このことは，水銀が垂直方向にほとんど同一濃度で存在していることを意味している。

3. 4 鹿兒島湾表面水中の水銀含有量

1975～1978年の間に，鹿兒島湾で採取した70個の表面水（表2参照）中の溶解性の無機水銀と有機水銀を含めて定量される水銀含有量の範囲は7～48 ng/lであり，算術平均値，幾何平均値は，それぞれ，12.6, 11.8 ng/lである。

また，1979～1983年の間に，同湾で採取した41個（表3参照）の表面水の溶解性の無機水銀含有量の範囲は0.2～10.5 ng/lであり，算術平均値，幾何平均値は，それぞれ，2.1, 1.9 ng/lである。溶解性の無機水銀に有機水銀の一部などを含めて定量される水銀含有量の範囲は0.6～13.4 ng/lであり，算術平均値，幾何平均値は，それぞれ3.6, 3.0 ng/lである。総水銀の含有量の範囲は1.7～17.6 ng/lであり，その範囲は広い。算術平均値，幾何平均値は，それぞれ，7.1,

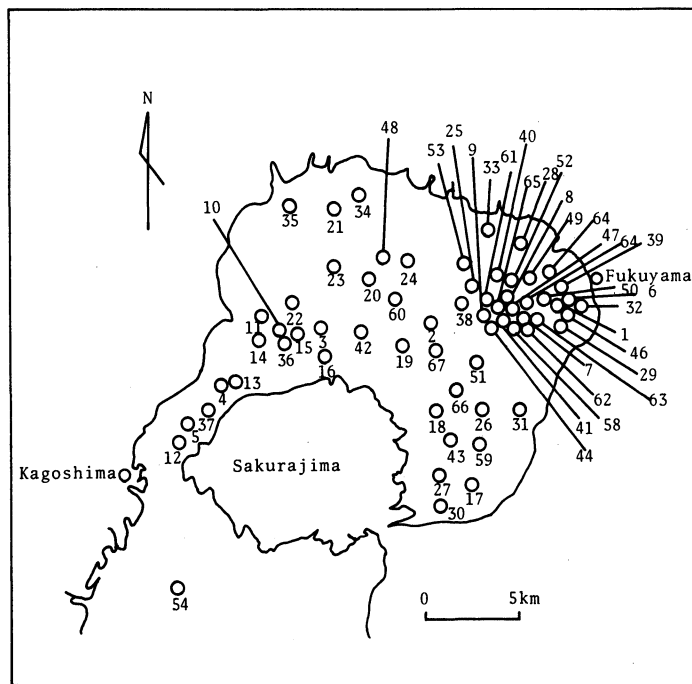


Fig. 6. Stations of sampling in the Kagoshima Bay.

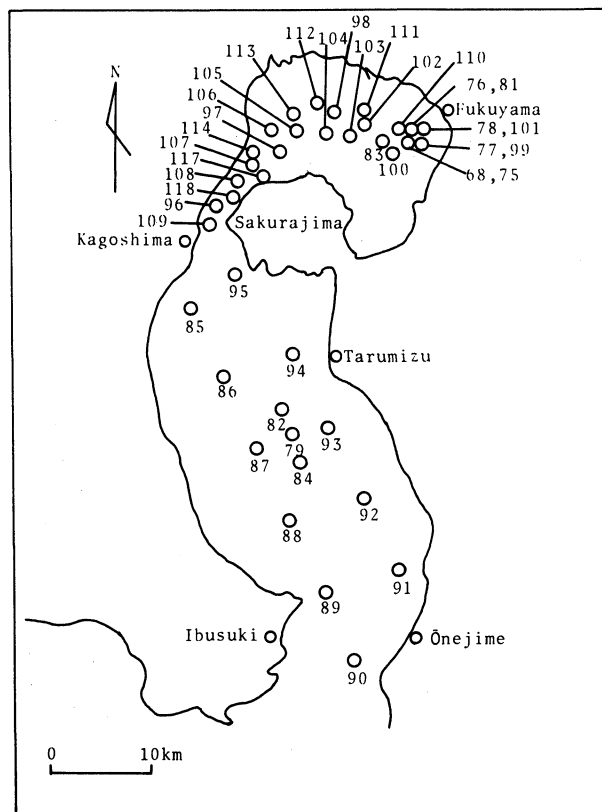


Fig. 7. Stations of sampling in the Kagoshima Bay.

Table 2 Mercury content in sea waters of the Kagoshima Bay.

| Sample | St. No. | Date | Depth(m) | W.T.(°C) | pH | Hg(ng/l) | |
|----------------|---------|------|-------------|----------|------|----------|----|
| K ₁ | -1 | 1 | May. 7. '75 | 0 | 18.0 | 8.0 | 14 |
| | : -2 | 2 | : : : | 0 | 18.0 | 8.0 | 17 |
| | : -3 | 3 | : : : | 0 | 18.2 | 7.9 | 12 |
| | : -4 | 4 | : : : | 0 | 18.2 | 8.0 | 16 |
| | : -5 | 5 | : : : | 0 | 18.1 | 8.0 | 17 |
| K ₂ | -1 | 6 | Jul. 31. | 0 | 25.7 | 8.0 | 16 |
| | : -2 | 7 | : : : | 0 | 25.9 | 8.0 | 13 |
| | : -3 | 8 | : : : | 0 | 26.5 | 8.0 | 23 |
| | : -4 | 9 | : : : | 0 | 26.5 | 8.0 | 13 |
| | : -5 | : | : : : | 10 | - | 8.0 | 15 |
| | : -6 | : | : : : | 50 | - | 7.7 | 11 |
| | : -7 | : | : : : | 100 | - | - | 19 |
| | : -8 | : | : : : | 200 | - | 7.4 | 11 |
| | : -9 | 10 | : : : | 0 | 27.8 | 8.0 | 13 |
| | : -10 | 11 | : : : | 0 | 27.9 | 8.1 | 15 |
| | : -11 | : | : : : | 100 | - | 7.8 | 13 |
| K ₃ | -1 | 12 | Nov. 10. | 0 | 22.7 | 8.1 | 9 |
| | : -2 | 13 | : : : | 0 | 22.8 | 8.1 | 13 |
| | : -3 | 14 | : : : | 0 | 23.0 | 8.1 | 14 |
| | : -4 | 15 | : : : | 0 | 23.1 | 8.1 | 12 |
| | : -5 | 16 | : : : | 0 | 22.8 | 8.1 | 12 |
| | : -6 | 17 | : : : | 0 | 23.3 | 8.1 | 10 |
| | : -7 | 18 | : : : | 0 | 23.0 | 8.1 | 16 |
| | : -8 | 19 | : : : | 0 | 23.1 | 8.1 | 10 |
| | : -9 | 20 | : : : | 0 | 23.0 | 8.1 | 8 |
| | : -10 | 21 | : : : | 0 | 22.9 | 8.1 | 14 |
| K ₄ | -1 | 22 | : 25. | 0 | 20.6 | 8.0 | 18 |
| | : -2 | 23 | : : : | 0 | 20.5 | 8.0 | 15 |
| | : -3 | 24 | : : : | 0 | 19.7 | 8.0 | 11 |
| | : -4 | 25 | : : : | 0 | 20.9 | 8.0 | 11 |
| | : -5 | 26 | : : : | 0 | 20.8 | 8.1 | 18 |
| | : -6 | 27 | : : : | 0 | 21.2 | 8.0 | 15 |
| | : -7 | 28 | : : : | 0 | 21.3 | 8.0 | 13 |
| | : -8 | 29 | : : : | 0 | 20.9 | 8.0 | 18 |
| | : -9 | 30 | : 26. | 0 | 21.3 | 8.1 | 17 |
| | : -10 | 31 | : : : | 0 | 21.3 | 8.0 | 13 |
| | : -11 | 32 | : : : | 0 | 21.7 | 8.0 | 12 |
| | : -12 | 33 | : : : | 0 | 21.0 | 8.0 | 14 |
| | : -13 | 34 | : : : | 0 | 21.2 | 8.0 | 13 |
| | : -14 | 35 | : : : | 0 | 21.2 | 8.0 | 20 |
| | : -15 | 36 | : : : | 0 | 21.3 | 8.0 | 13 |
| | : -16 | 37 | : : : | 0 | 21.0 | 8.0 | 13 |
| | : -17 | : | : : : | 40 | 21.6 | 8.0 | 10 |
| | : -18 | : | : : : | 70 | 18.6 | 7.8 | 13 |

Table 2 Continued.

| Sample | St. No. | Date | Depth(m) | W.T.(°C) | pH | Hg(ng/l) |
|--------------------|---------|--------------|----------|----------|------------------|----------|
| K ₄ -19 | 38 | Nov. 26. '75 | 0 | 21.5 | 8.0 | 17 |
| ∴ -20 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 100 | 16.9 | 6.8 | 11 |
| ∴ -21 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 200 | 16.2 | 6.6 | 10 |
| ∴ -22 | 39 | ∴ 27. ∴ | 0 | 21.3 | 8.1 | 24 |
| ∴ -23 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 50 | 21.5 | 8.0 | 23 |
| ∴ -24 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 120 | 16.6 | 7.7 | 24 |
| ∴ -25 | 40 | ∴ ∴ ∴ | 0 | 21.5 | 8.0 | 35 |
| ∴ -26 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 50 | 21.5 | 8.0 | 25 |
| ∴ -27 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 100 | 17.2 | 6.4 | 24 |
| ∴ -28 | 41 | ∴ ∴ ∴ | 0 | 21.4 | 8.0 | 19 |
| ∴ -29 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 100 | 16.9 | 7.6 | 18 |
| ∴ -30 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 150 | 16.5 | 7.2 | 48 |
| ∴ -31 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 200 | 16.3 | 6.6 | 17 |
| ∴ -32 | 42 | ∴ 28. ∴ | 0 | 21.3 | 8.0 | 12 |
| ∴ -33 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 50 | 21.2 | 8.0 | 11 |
| ∴ -34 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 130 | 16.6 | 7.7 | 15 |
| ∴ -35 | 43 | ∴ ∴ ∴ | 0 | 21.4 | 8.0 | 11 |
| ∴ -36 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 50 | 21.4 | 8.0 | 7 |
| ∴ -37 | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 130 | 16.7 | 7.6 | 7 |
| K ₅ -1 | 44 | May. 6. '76 | 0 | 19.0 | 8.3 | 9 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 50 | 16.9 | 8.0 | 9 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 100 | 16.6 | 7.9 | 15 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 200 | 16.5 | 7.3 | 9 |
| ∴ -2 | 45 | ∴ ∴ ∴ | 0 | 20.0 | 8.3 | 9 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 10 | 19.0 | 8.3 | 9 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 50 | 16.4 | 8.0 | 9 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 70 | 16.4 | 7.9 | 10 |
| K ₆ -1 | 46 | Aug. 12. ∴ | 0 | 28.8 | 8.0 | 15 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 10 | 25.9 | 8.0 | 20 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 50 | 20.1 | 7.8 | 16 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 75 | 16.9 | 7.5 | 32 |
| ∴ -2 | 47 | ∴ ∴ ∴ | 0 | 28.5 | 8.1 | 13 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 10 | 25.2 | 8.1 | 10 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 50 | 20.3 | 7.9 | 14 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 100 | 16.1 | 7.7 | 13 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 195 | 15.7 | 7.0 | 32 |
| ∴ -4 | 48 | ∴ ∴ ∴ | 0 | 28.8 | 8.1 | 9 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 10 | 24.8 | 8.0 | 8 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 50 | 20.6 | 7.8 | 10 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 100 | 16.5 | 7.7 | 8 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 135 | 16.2 | 7.6 | 13 |
| K ₉ -1 | 49 | Sept. 29. ∴ | 0 | 24.6 | 8.0 ₇ | 8 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 50 | 21.3 | 7.9 ₄ | 7 |
| ∴ ∴ | ∴ | ∴ ∴ ∴ | 100 | 17.2 | 7.6 ₂ | 7 |

Table 2 Continued.

| Sample | St. No. | Date | Depth(m) | W.T.(°C) | pH | Hg(ng/l) |
|--------------------|---------|---------------|----------|----------|------------------|----------|
| K ₉ -1 | 49 | Sept. 29. '76 | 180 | 16.8 | 7.1 ₁ | 7 |
| : -2 | 50 | : : : | 0 | 24.0 | 8.1 ₇ | 7 |
| : : | : : | : : : | 50 | 21.6 | 8.9 ₆ | 7 |
| : : | : : | : : : | 100 | 16.9 | 7.5 ₆ | 7 |
| : : | : : | : : : | 185 | 16.6 | 7.0 ₄ | 6 |
| : -3 | 51 | : : : | 0 | 25.0 | 8.1 ₇ | 6 |
| : : | : : | : : : | 50 | 22.0 | 7.9 ₇ | 7 |
| : : | : : | : : : | 70 | 18.4 | 7.7 ₉ | 7 |
| : : | : : | : : : | 100 | 17.5 | 7.6 ₂ | 7 |
| K ₁₁ -1 | 52 | Oct. 12. : | 0 | 23.0 | 7.9 ₈ | 11 |
| : : | : : | : : : | 70 | 19.9 | 7.7 ₈ | 14 |
| : : | : : | : : : | 130 | 17.2 | 7.3 ₉ | 14 |
| : -2 | 53 | : : : | 0 | 23.0 | 8.0 ₃ | 12 |
| : : | : : | : : : | 70 | 20.0 | 7.8 ₁ | 12 |
| : : | : : | : : : | 100 | 17.2 | 7.5 ₂ | 8 |
| : : | : : | : : : | 140 | 17.0 | 7.4 ₂ | 9 |
| : -3 | 54 | : : : | 0 | 25.0 | 8.1 ₂ | 8 |
| : : | : : | : : : | 50 | 23.7 | 8.0 ₆ | 9 |
| : : | : : | : : : | 100 | 17.8 | 7.9 ₂ | 14 |
| : : | : : | : : : | 150 | 16.0 | 7.8 ₈ | 15 |
| : : | : : | : : : | 215 | 16.0 | 7.8 ₅ | 12 |
| K ₁₃ -D | 55 | Dec. 5. : | 0 | 19.0 | 8.2 ₇ | 10 |
| : : | : : | : : : | 40 | 18.7 | 8.1 ₉ | 9 |
| : : | : : | : : : | 80 | 17.9 | 8.1 ₁ | 11 |
| : : | : : | : : : | 120 | 16.3 | 8.0 ₅ | 9 |
| : : | : : | : : : | 160 | 15.5 | 8.0 ₃ | 9 |
| : -E | 56 | : : : | 0 | 18.9 | 8.2 ₉ | 8 |
| : : | : : | : : : | 120 | 16.5 | 8.1 ₀ | 8 |
| : : | : : | : : : | 210 | 15.3 | 8.0 ₃ | 8 |
| : -G | 57 | : : : | 0 | 18.8 | 8.2 ₀ | 7 |
| : : | : : | : : : | 40 | 18.6 | 8.1 ₉ | 7 |
| : : | : : | : : : | 100 | 17.6 | 8.0 ₉ | 7 |
| : : | : : | : : : | 160 | 15.4 | 7.9 ₉ | 10 |
| : : | : : | : : : | 180 | 15.4 | 7.9 ₈ | 11 |
| : -K | 58 | : 6. : | 1 | 19.3 | 8.2 ₂ | 17 |
| : : | : : | : : : | 148 | 16.3 | 7.1 ₅ | 6 |
| : : | : : | : : : | 198 | 16.2 | 6.7 ₀ | 13 |
| : -X | 59 | : : : | 1 | 19.2 | 8.1 ₄ | 9 |
| : : | : : | : : : | 50 | 19.2 | 8.0 ₅ | 12 |
| : : | : : | : : : | 80 | 18.6 | 7.9 ₆ | 17 |
| : : | : : | : : : | 110 | 16.9 | 7.6 ₁ | 12 |
| K ₁₄ -3 | 60 | Jan. 20. '77 | 0 | - | 7.9 ₅ | 8 |
| : : | : : | : : : | 130 | - | 8.0 ₁ | 20 |
| : -16 | 61 | : : : | 190 | - | 7.9 ₄ | 10 |

Table 2 Continued.

| Sample | St. No. | Date | Depth(m) | W.T.(°C) | pH | Hg(ng/l) |
|-----------------------|---------|--------------|----------|----------|------------------|----------|
| K ₁₄ -30 | 62 | Jan. 20.'77 | 120 | - | 7.9 ₀ | 9 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 200 | - | 7.8 ₉ | 12 |
| K ₁₆ -1 | 63 | Apr. 17. | 0 | 18.5 | 8.1 ₆ | 9 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 20 | 16.0 | 8.1 ₁ | 8 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 60 | 16.0 | 8.0 ₈ | 9 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 80 | 15.5 | 7.9 ₄ | 9 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 100 | 15.5 | 7.9 ₁ | 10 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 120 | 15.7 | 7.9 ₁ | 9 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 170 | 15.5 | 7.4 ₆ | 9 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 195 | 15.5 | 7.5 ₀ | 9 |
| K ₁₇ -3 | 64 | May 9. | 0 | 19.8 | 8.2 ₅ | 8 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 50 | 15.6 | 7.9 ₉ | 9 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 165 | 14.7 | 7.5 ₁ | 10 |
| ∴ -4 | 65 | ∴ | 0 | 19.7 | 8.2 ₄ | 7 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 50 | 15.7 | 7.9 ₉ | 7 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 100 | 15.0 | 7.9 ₀ | 7 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 150 | 15.0 | 7.3 ₇ | 12 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 190 | 14.7 | 7.2 ₅ | 12 |
| ∴ -5 | 66 | ∴ | 0 | 19.2 | 8.2 ₅ | 7 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 50 | 15.3 | 7.9 ₉ | 9 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 130 | 14.7 | 7.8 ₃ | 9 |
| ∴ -6 | 67 | ∴ | 0 | 19.5 | 8.2 ₄ | 7 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 50 | 15.4 | 7.9 ₉ | 7 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 130 | 14.5 | 7.7 ₈ | 7 |
| K ₁₈ -1 | 68 | Aug. 17. | 0 | 32.0 | 8.2 ₃ | 7 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 50 | 22.0 | 8.0 ₂ | 8 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 100 | 20.7 | 8.1 ₂ | 9 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 150 | 16.7 | 7.3 ₆ | 7 |
| ∴ | ∴ | ∴ | 200 | 16.8 | 6.8 ₇ | 9 |
| K ₁₉ -A-40 | 69 | Nov. 18. | 0 | 21.7 | 8.2 ₀ | 9 |
| ∴ -34 | 70 | ∴ | 0 | 22.0 | 8.1 ₃ | 11 |
| ∴ -A-C | 71 | ∴ | 0 | 22.1 | 8.1 ₃ | 10 |
| ∴ | 72 | ∴ | 200 | 15.1 | 6.8 ₁ | 10 |
| ∴ -A-39 | 73 | ∴ | 0 | 21.9 | 8.1 ₃ | 9 |
| ∴ -A-36 | 74 | ∴ | 0 | 22.0 | 8.0 ₉ | 9 |
| K ₂₀ -1 | 75 | Sept. 21.'78 | 0 | 28.0 | 8.2 ₉ | 8 |
| ∴ -2 | ∴ | ∴ | 50 | 23.0 | 8.0 ₉ | 10 |
| ∴ -3 | ∴ | ∴ | 100 | 17.6 | 7.7 ₇ | 8 |
| ∴ -4 | ∴ | ∴ | 150 | 17.3 | 7.3 ₉ | 7 |
| ∴ -5 | ∴ | ∴ | 195 | 16.5 | 7.1 ₄ | 9 |

Dithizone-CHCl₃-cold vapor atomic absorption spectrometry is used for sea water of the Kagoshima Bay during the period 1975-1978.

Table 3 Mercury content in sea waters of the Kagoshima Bay.

| Sample | St. No. | Date | Depth (m) | W.T. (°C) | pH | Hg(ng/l) | | | | |
|-----------------|---------|------|---------------|--------------|------------------|------------------|------------------|-----|------|---|
| | | | | | | I | II | III | | |
| K ₂₁ | -1 | 76 | Feb. 15. '79 | 0 | 15.5 | 7.8 ₇ | 2.5 | - | - | |
| | : | : | : | 50 | 16.0 | 7.8 ₉ | 2.5 | - | - | |
| | : | : | : | 100 | 16.3 | 7.8 ₈ | 2.0 | - | - | |
| | : | : | : | 130 | 16.5 | 7.9 ₄ | 2.5 | - | - | |
| | -2 | 77 | : | : | 0 | 15.3 | 7.8 ₈ | 2.5 | - | - |
| | | | | | 50 | 15.9 | 7.8 ₉ | 3.6 | - | - |
| | | | | | 100 | 15.9 | 7.9 ₀ | 6.5 | - | - |
| | | | | | 150 | 16.0 | 7.7 ₅ | 3.0 | - | - |
| | | | | | 200 | 15.9 | 7.8 ₅ | 2.5 | - | - |
| | -3 | 78 | : | : | 0 | 15.9 | 7.7 ₆ | 2.0 | - | - |
| | | | | | 50 | 15.9 | 7.7 ₉ | 2.5 | - | - |
| | | | | | 70 | 16.0 | 7.6 ₉ | 3.6 | - | - |
| | -4 | 79 | : | 18. | 0 | 16.0 | 8.1 ₆ | 1.3 | - | - |
| | | | | | 50 | 16.2 | 8.1 ₀ | 1.3 | - | - |
| | | | | | 100 | 16.2 | 8.1 ₀ | 1.3 | - | - |
| 150 | | | | | 15.7 | 7.9 ₇ | 2.5 | - | - | |
| 200 | | | | | 15.4 | 8.0 ₄ | 3.6 | - | - | |
| -5 | 80 | : | : | 0 | 16.1 | 8.0 ₄ | 1.3 | - | - | |
| | | | | 50 | 16.1 | 8.0 ₁ | 2.0 | - | - | |
| | | | | 90 | 16.3 | 8.0 ₁ | 2.0 | - | - | |
| | | | | : | : | : | : | : | : | : |
| K ₂₃ | -1 | 81 | Oct. 5. | 0 | 25.5 | 8.1 ₁ | 2.0 | - | - | |
| | : | : | : | 50 | 23.0 | 7.9 ₆ | 1.5 | - | - | |
| | : | : | : | 100 | 18.2 | 7.5 ₄ | 2.0 | - | - | |
| | : | : | : | 150 | 18.2 | 6.7 ₂ | 10.5 | - | - | |
| | : | : | : | 190 | 18.2 | 6.6 ₅ | 10.0 | - | - | |
| | -2 | 82 | : | 7. | 0 | 24.0 | 8.1 ₅ | 1.0 | - | - |
| | | | | | 50 | 22.8 | 8.0 ₉ | 1.0 | - | - |
| | | | | | 100 | 18.0 | 7.9 ₆ | 1.5 | - | - |
| | | | | | 150 | 17.0 | 7.9 ₂ | 1.0 | - | - |
| | | | | | 200 | 17.0 | 7.9 ₂ | 2.0 | - | - |
| K ₂₄ | -1 | 83 | Sept. 19. '80 | 0 | 27.3 | 8.2 ₅ | 1.2 | 2.2 | - | |
| | : | : | : | 50 | 23.1 | 8.1 ₁ | 1.6 | 3.6 | - | |
| | : | : | : | 100 | 20.1 | 8.0 ₁ | 0.3 | 0.9 | - | |
| | : | : | : | 150 | 17.9 | 7.9 ₇ | 1.8 | 1.7 | - | |
| | : | : | : | 200 | 17.3 | 7.9 ₆ | 1.3 | 2.2 | - | |
| | -2 | 84 | : | 20. | 0 | 27.0 | 8.3 ₂ | 0.2 | 0.8 | - |
| | | | | | 50 | 21.6 | 8.0 ₁ | 0.7 | 0.6 | - |
| | | | | | 100 | 17.5 | 7.7 ₃ | 1.0 | 1.2 | - |
| | | | | | 150 | 17.2 | 7.3 ₈ | 3.2 | 10.9 | - |
| : | : | : | 195 | 17.5 | 7.1 ₃ | 2.2 | 4.0 | - | | |

Table 3 Continued.

| Sample | St. No. | Date | Depth (m) | W.T. (°C) | pH | Hg(ng/l) | | |
|--------------------|---------|-------------|--------------|--------------|------------------|----------|-----|------|
| | | | | | | I | II | III |
| K ₂₆ -A | 85 | Oct. 15.'81 | 0 | 24.0 | 8.1 ₅ | 4.0 | 5.3 | 5.1 |
| : -B | 86 | : : : | 0 | 24.1 | 8.2 ₀ | 5.4 | 6.8 | 8.3 |
| : -C | 87 | : : : | 0 | 24.6 | 8.2 ₀ | 3.3 | 2.9 | 3.6 |
| : : | : | : : : | 20 | 24.4 | 8.2 ₀ | 2.8 | 3.3 | 5.8 |
| : : | : | : : : | 50 | 23.3 | 8.1 ₀ | 3.5 | 2.8 | 2.9 |
| : : | : | : : : | 100 | 17.3 | 7.9 ₅ | 2.8 | 2.8 | 3.6 |
| : : | : | : : : | 200 | 15.7 | 7.9 ₄ | 3.7 | 3.3 | 5.3 |
| : -D | 88 | : : : | 0 | 25.0 | 8.2 ₉ | 3.3 | 3.8 | 8.8 |
| : -E | 89 | : : : | 0 | 24.3 | 8.2 ₃ | 2.8 | 3.0 | 6.5 |
| : -F | 90 | : : : | 0 | 24.8 | 8.2 ₅ | 2.1 | 7.6 | 7.7 |
| : -G | 91 | : : : | 0 | 24.8 | 8.2 ₄ | 2.1 | 2.1 | 5.9 |
| : -H | 92 | : : : | 0 | 25.0 | 8.0 ₅ | 1.9 | 1.8 | 5.8 |
| : -I | 93 | : : : | 0 | 25.6 | 8.0 ₆ | 1.7 | 1.8 | 5.2 |
| : -J | 94 | : : : | 0 | 25.8 | 8.0 ₉ | 1.5 | 1.9 | 5.3 |
| : -K | 95 | : : : | 0 | 24.5 | 8.1 ₀ | 1.9 | 2.1 | 5.9 |
| : -L | 96 | : 16. : | 0 | 23.3 | 8.0 ₅ | 2.3 | 3.3 | 3.9 |
| : -M | 97 | : : : | 0 | 23.2 | 8.1 ₅ | 2.3 | 3.5 | 6.6 |
| : -N | 98 | : : : | 0 | 23.5 | 8.1 ₉ | 2.2 | 3.4 | 6.6 |
| : -O | 99 | : : : | 0 | 24.4 | 8.1 ₄ | 3.0 | 2.8 | 5.7 |
| : : | : | : : : | 20 | 24.2 | 8.1 ₂ | 2.0 | 2.6 | 7.2 |
| : : | : | : : : | 50 | 23.1 | 8.1 ₁ | 2.6 | 2.8 | 8.4 |
| : : | : | : : : | 100 | 17.0 | 7.6 ₉ | 3.4 | 4.4 | 8.8 |
| : : | : | : : : | 190 | 16.0 | 6.8 ₂ | 3.6 | 8.7 | 14.4 |
| K ₂₉ -1 | 100 | Nov. 18.'82 | 0 | 22.0 | 8.2 ₄ | 1.8 | 1.6 | 1.7 |
| : : | : | : : : | 50 | 18.5 | 8.1 ₃ | 2.1 | 2.4 | 2.4 |
| : : | : | : : : | 100 | 17.5 | 7.5 ₉ | 2.2 | 2.2 | 2.4 |
| : : | : | : : : | 150 | 16.8 | 7.2 ₄ | 2.2 | 2.5 | 2.8 |
| : : | : | : : : | 200 | 16.8 | 6.7 ₁ | 2.5 | 3.5 | 7.8 |
| : -2 | 101 | : : : | 0 | 22.1 | 8.2 ₄ | 2.1 | 2.3 | 3.1 |
| : -3 | 102 | : : : | 0 | 21.5 | 8.2 ₅ | 1.5 | 8.3 | 8.8 |
| : -4 | 103 | : : : | 0 | 21.4 | 8.2 ₇ | 1.9 | 5.3 | 6.6 |
| : -5 | 104 | : : : | 0 | 21.5 | 8.2 ₆ | 1.8 | 3.1 | 7.5 |
| : -6 | 105 | : : : | 0 | 21.8 | 8.2 ₃ | 2.4 | 3.9 | 5.4 |
| : -7 | 106 | Nov. 18.'82 | 0 | 22.0 | 8.2 ₂ | 2.1 | 3.5 | 13.5 |
| : -8 | 107 | : : : | 0 | 22.0 | 8.2 ₃ | 2.4 | 2.5 | 4.8 |
| : -9 | 108 | : : : | 0 | 21.5 | 8.2 ₉ | 1.8 | 3.8 | 17.6 |
| : -10 | 109 | : : : | 0 | 21.4 | 8.3 ₀ | 1.5 | 5.5 | 7.1 |
| K ₃₁ -1 | 110 | Dec. 2.'83 | 0 | 19.6 | 8.2 ₄ | 1.0 | 1.9 | 14.2 |
| : : | : | : : : | 50 | 19.1 | 8.1 ₃ | 2.3 | 2.4 | 9.4 |
| : : | : | : : : | 100 | 16.9 | 7.7 ₂ | 1.8 | 2.7 | 8.6 |
| : : | : | : : : | 150 | 16.0 | 7.3 ₂ | 1.0 | 2.0 | 9.6 |

Table 3 Continued.

| Sample | St. No. | Date | Depth (m) | W.T. (°C) | pH | Hg(ng/l) | | |
|--------------------|---------|------------|--------------|--------------|------------------|----------|------|------|
| | | | | | | I | II | III |
| K ₃₁ -2 | 111 | Dec. 2.'83 | 0 | 19.1 | 8.2 ₈ | 2.0 | 2.1 | 7.7 |
| : -3 | 112 | : : : | 0 | 18.9 | 8.2 ₅ | 1.7 | 2.2 | 12.1 |
| : -4 | 113 | : : : | 0 | 19.2 | 8.2 ₆ | 1.7 | 2.1 | 3.4 |
| : -5 | 114 | : : : | 0 | 19.4 | 8.1 ₇ | 1.8 | 1.9 | 2.9 |
| : -6 | 115 | : : : | 0 | 19.6 | 8.1 ₃ | 3.3 | 13.4 | 13.4 |
| : -7 | 116 | : : : | 0 | 19.7 | 8.1 ₆ | 1.3 | 2.9 | 5.8 |

(I) : Dissolved inorganic mercury

(II) : Dissolved inorganic mercury plus a part of organic mercury and suspended mercury

(III) : Total mercury

Table 4 Average values of mercury contents in sea waters of the Kagoshima Bay.

| Year | | Inorg. Hg | Inorg. Hg + Org. Hg | Total Hg |
|-----------|-------------|-------------|------------------------|-------------|
| | | (ng/l) | (ng/l) | (ng/l) |
| 1975-1978 | \bar{X}_A | - | - | 12.6 (12.1) |
| | \bar{X}_G | - | - | 11.8 (11.1) |
| | n | - | - | 70 (172) |
| 1979-1983 | \bar{X}_A | 2.10 (2.38) | 3.57 (3.42) | 7.08 (6.93) |
| | \bar{X}_G | 1.90 (2.05) | 3.03 (2.87) | 6.29 (6.11) |
| | n | 41 (87) | 34 (57) | 32 (47) |

 \bar{X}_A : Arithmetic mean \bar{X}_G : Geometric mean

n : No. of samples

() : Include all the vertical samples

Data without the bracket indicate surface sea water

6.3 ng/lである。これは松本ら³⁰⁾による東京湾海水中的総水銀含有量の値(範囲6.3~15.0 ng/l, 算術平均値9.7 ng/l)と比較して, ほぼ同じレベルにあるとみてよい。

鹿兒島湾表面海水中的水銀含有量は湾北部, 湾南部による顕著な差異は認められない。

3. 5 鹿兒島湾海水中的水銀の垂直分布

鹿兒島湾で採取した各層水中の溶解性の無機水銀, 溶解性の無機水銀に有機水銀の一部などを含めた水銀含有量と総水銀の垂直分布を図8に示す。

湾南部 (Stn. 87) では溶解性の無機水銀含有量, 溶解性の無機水銀に有機水銀の一部などを

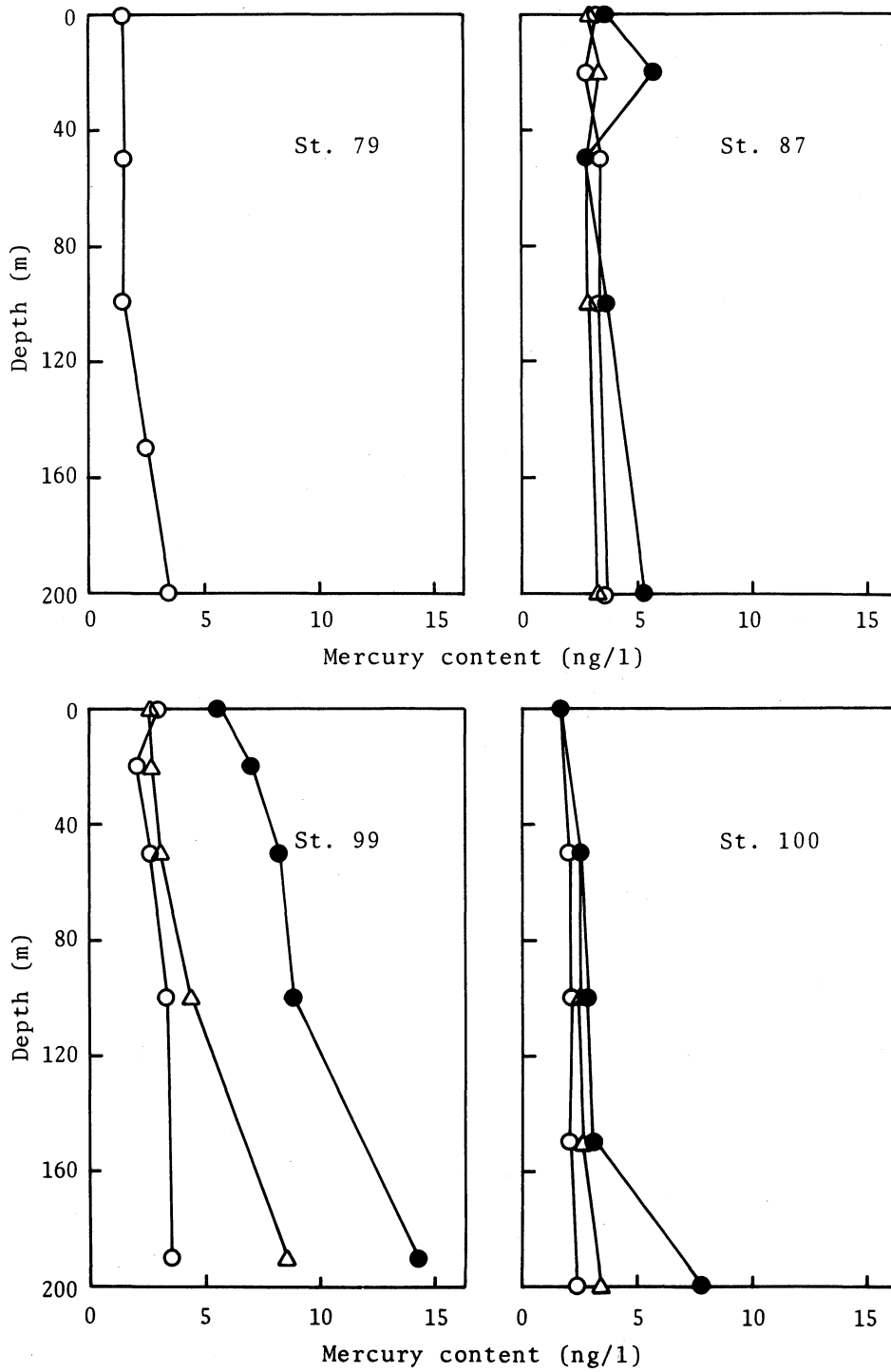


Fig. 8. Vertical profiles of dissolved inorganic mercury, dissolved inorganic mercury plus a part of organic mercury and suspended mercury and total mercury in the Kagoshima Bay.

○ : Dissolved inorganic mercury

△ : Dissolved inorganic mercury plus a part of organic mercury and suspended mercury

● : Total mercury

含めた水銀含有量, 総水銀含有量はいずれも深度による差は小さい。しかし, 湾北部 (Stn. 99, 100) の海底噴気孔周辺の水深100m以下の底層水において深度が深くなるにつれ, 溶解性の無機水銀に有機水銀の一部を含めた水銀含有量と総水銀含有量が成層期にはいくらか高めである。この海域の底質中には海底噴気孔ガスに由来すると思われる水銀, ヒ素およびアンチモンが著しく濃縮している¹⁶⁾。この底質から海水への溶出, 噴気孔ガス (水銀含有量の最高値3,000 ng/m³)³¹⁾からの供給, 底質の舞い上がりや熱水に溶けた形で供給される水銀が底層水中の水銀含有量の増加の一因になっていると考えられる。

3. 6 鹿兒島湾海水中的総水銀含有量の経年変化

1975~1983までの鹿兒島湾海水 (表2, 3) 中の総水銀含有量についてジチゾン-抽出-冷原子吸光度法と方法 (Ⅲ) を用いて調べた結果を年代と合わせて表5に示す。

Table 5 Average values of total mercury contents in sea waters of the Kagoshima Bay during the period 1975-1983.

| Year | Range Hg (ng/1) | \bar{X}_A (ng/1) | \bar{X}_G (ng/1) | n |
|------|--------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| 1975 | 7 - 48 | 15.4 | 14.5 | 63 |
| 1976 | 6 - 32 | 10.8 | 10.1 | 66 |
| 1977 | 7 - 20 | 9.13 | 8.92 | 38 |
| " | 9 - 121* | 27.7* | 19.1* | 10 |
| 1978 | 7 - 10 | 8.40 | 8.34 | 5 |
| 1979 | (1.0 - 10.5) | (2.66) | (1.97) | (18) |
| 1980 | (0.6 - 10.9) | (2.79) | (1.88) | (10) |
| 1981 | 2.9 - 14.4 | 6.40 | 6.03 | 23 |
| 1982 | 1.7 - 17.6 | 6.54 | 5.27 | 14 |
| 1983 | 2.9 - 14.2** | 8.71** | 7.76** | 10 |

\bar{X}_A : Arithmetic mean

\bar{X}_G : Geometric mean

n : No. of samples

* : Vicinity of a sea bottom fumarole

** : Sea water around the fumarole at
the 200m-depth locations

(): Soluble inorganic mercury

1981～1983年の鹿児島湾海水中的の総水銀含有量は、1975～1978年の約半分になっている。これは鹿児島湾の汚染の進行に関心がもたれ、諸々の対策がとられてきたとはいえ、この約10年近くの間には鹿児島湾の水銀含有量が約半分になったとみるよりは、超微量の水銀の定量が正確に行えるようになったとみるべきである。というのは、海水中的の水銀含有量は、海洋環境問題からも注目され、多くの報告^{32)～37)}がある。それらの値と著者らによる値を年代と合わせて図9に示す。

この図から海水中的の水銀の分析値は、分析技術の進歩にともない年とともに低くなってきていることを示している。Matsunaga³⁸⁾らによる外洋水中の水銀含有量(約5 ng/l)は最も信頼のお

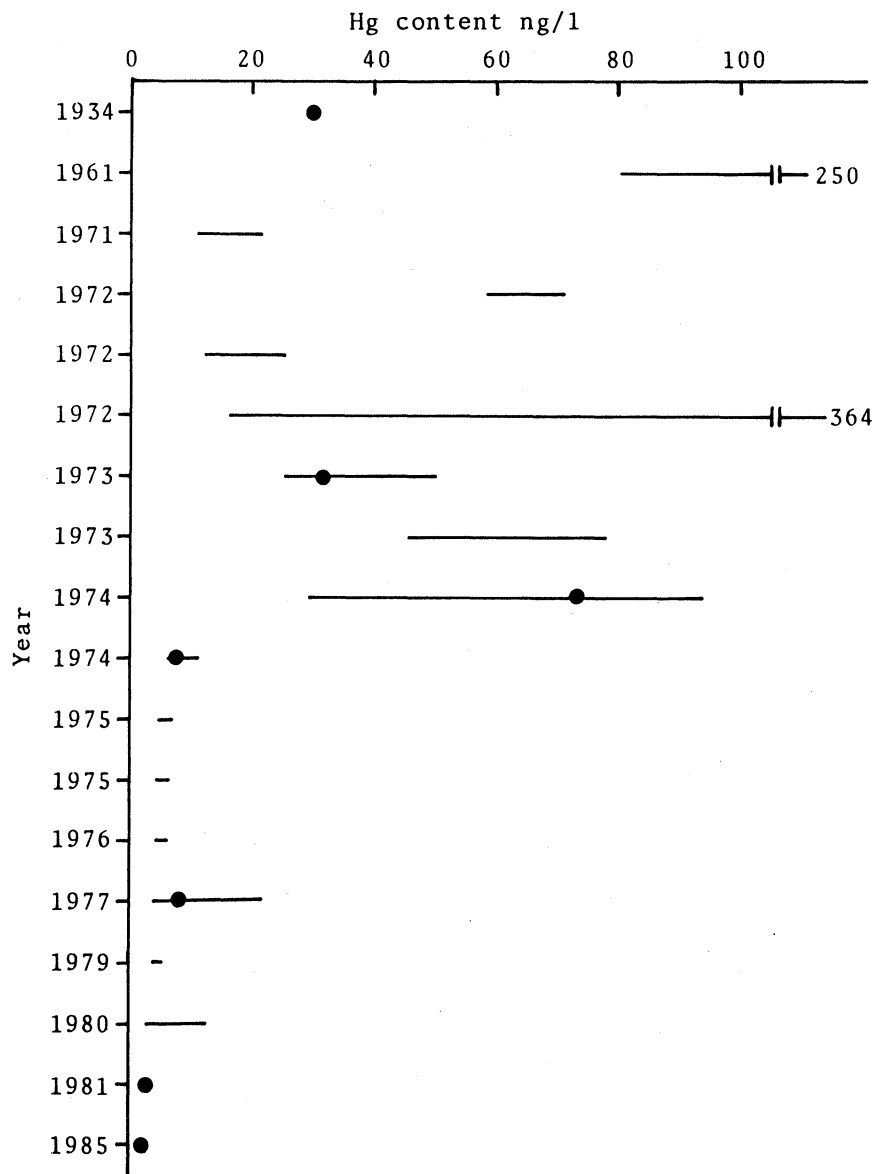


Fig. 9. Annual change in the measured content of mercury in sea water.

● : Mean value

ける値と考えられていたが、海上保安庁水路部から最新の日本周辺の海水中的水銀含有量として0~17 ng/l (平均値3 ng/l)³⁹⁾が報告されている。著者ら(方法Ⅲ)による外洋水(東シナ海)中の総水銀含有量の濃度範囲は2.8~5.2 ng/l (平均値3.6 ng/l)である。鹿兒島湾海水中的総水銀含有量は、外洋水の約2倍高い。これは鹿兒島市周辺の都市活動、地質環境、湾北部の海底火山活動、桜島の火山活動などの影響が複合し、鹿兒島湾にもたらされているためと推察される。

4. 結 論

鹿兒島湾海水中的水銀の定量法としてジチゾン-クロロホルム抽出-冷原子吸光光度法と塩化スズ(Ⅱ)による還元気化-多孔質金捕集-加熱気化-冷原子吸光光度法を用いて、鹿兒島湾海水中的存在形態を含む水銀含有量とその分布を調べ、つぎのことが明らかになった。

- (1) 鹿兒島湾海水中的総水銀含有量は湾全体としては大差はない。
- (2) 鹿兒島湾海水中的深度による総水銀含有量は一部の海域を除いて差異が認められない。
- (3) 鹿兒島湾北部の海底噴気の存在する成層期の底層水の中には総水銀が深度につれていくらか増加しているものがあり、海底噴気活動からの寄与が考えられる。
- (4) 鹿兒島湾海水中的溶解性の無機水銀に有機水銀の一部を加えた水銀含有量と総水銀含有量が外洋水に比べて約2倍高い。これは鹿兒島市周辺の都市活動、地質環境、湾北部の海底火山の活動、桜島の火山活動などの影響が複合し、鹿兒島湾にもたらされているためと推察される。
- (5) 鹿兒島湾海水中的水銀含有量がジチゾン-クロロホルム抽出-冷原子吸光光度法を用いていた頃に比べて低くなっている。これは分析法の改良、用いる試薬の精製、実験室環境などからの水銀汚染を少なくする工夫をしたことなどによると考えられ、海水中的水銀含有量が急激に減少したとは考え難い。

最後に、本研究にご協力いただいた石塚直子、池田勝子、遠矢淳子、川久保慶子の理学士に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 環境庁、鹿兒島県、鹿兒島湾の水銀汚染に係る環境調査報告書、p.1-13 (1975).
- 2) 鹿兒島県、第2期鹿兒島湾水質管理計画、p.235-236 (1996).
- 3) 鹿兒島県、鹿兒島湾の水銀汚染に係る環境調査報告書、p.1-34 (1977).
- 4) 鎌田政明、鹿兒島湾における重金属の分布水銀汚染魚を中心として“水汚染の機構と解析”、産業図書、p.191-215 (1978).
- 5) 西海区水産研究所、鹿兒島湾水銀汚染に関する調査報告Ⅰ 鹿兒島湾湾奥海域の環境と水銀汚染の背景、p.1-105 (1978).
- 6) 鹿兒島県水産試験場、鹿兒島湾における魚体への水銀蓄積機構に関する研究、p.1-27 (1979).
- 7) 鹿兒島県水産試験場、鹿兒島湾における魚体への水銀蓄積機構に関する研究、p.1-49 (1980).
- 8) 鹿兒島県、環境白書、p.240-245 (1977).
- 9) 鹿兒島県、環境白書、p.161-168 (1978).
- 10) 鎌田政明、大西富雄、坂元隼雄、鹿兒島湾湾奥部海域の水質異常、文部省総合研究報告書、p.55-74 (1976).
- 11) 小坂文子、平林順一、小沢竹二郎、大西富雄、坂元隼雄、鹿兒島湾奥部の海底泥と噴気ガスに関する研究、文部省総合研究報告書、p.48-63 (1977).
- 12) 鎌田政明、坂元隼雄、米原範伸、大西富雄、鹿兒島湾湾奥部海域の水質異常、文部省総合研究報告書、p.64-80 (1977).
- 13) 坪田博之、沿岸海洋研究ノート、21、p.36-44 (1983).
- 14) 坪田博之、安部美津子、土器屋由紀子、肥後伸夫、税所俊郎、鎌田政明、堀部純男、吉田多摩夫、鹿兒島湾魚

- 類の水銀濃縮, “沿岸域保全のための海的环境科学”, 恒星社厚生閣, p.233-288 (1983).
- 15) 坂元隼雄, 鹿児島湾海水中的水銀の分布, 日化, **1985**, p.35-42 (1985).
 - 16) H. Sakamoto, The distribution of mercury, arsenic, and antimony in sediments of Kagoshima Bay, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **58**, p.580-587 (1985).
 - 17) 坂元隼雄, 鎌田政明, 捕集剤として過マンガン酸カリウム溶液を用いた冷原子吸光光度法による固体試料中の微量水銀の定量, 鹿児島大学理学部紀要 (数学, 物理学, 化学) No. 13, p.63-76 (1980).
 - 18) S. H. Omang, Determination of mercury in natural waters and effluents by flameless atomic absorption spectrophotometry, *Anal. Chim. Acta*, **53**, p.415-419 (1971).
 - 19) 久下芳生, 工場排水の最近の分析法(3)全水銀 (還元気化法等), 水処理技術, **14**, p.299-302 (1973).
 - 20) J. J. Alberts, J. E. Schindler and R. W. Miller, Mercury determination in natural waters by persulfate oxidation, *Anal. Chem.*, **46**, p.434-436 (1974).
 - 21) H. Agemian, and J. A. Dasilva, Automatic method for the determinations of total mercury in fresh and saline waters and sediments, *Anal. Chim. Acta*, **104**, p.285-291(1979).
 - 22) 西 末雄, 有機水銀化合物の微量分析法, 分析機器, **9**, p.31-36 (1971).
 - 23) 大越純雄, 高橋富樹, 佐藤俊夫, SC-MSによる1ppbオーダーの塩化メチル水銀の同定; 蒸発法によるベンゼン溶液試料濃縮, 分化, **22**, p.593-595 (1973).
 - 24) L. Magos, Selective atomic-absorption determination of inorganic mercury and methylmercury in undigested biological samples, *Analyst*, p.847-853 (1971).
 - 25) 梅崎芳美, 岩本和子, フレームを用いない原子吸光法による水中微量水銀の定量, 分化, **20**, p.173-179 (1971).
 - 26) 鎌田俊彦, 林康久, 熊丸尚宏, 山本勇麓, 還元気化-気液平衡法による水中のppbレベル無機および有機水銀の原子吸光分析法, 分化, **22**, p.1481-1487 (1973).
 - 27) 鎌田政明, 鹿児島湾北部海域の海洋環境の特異性, 桜島地域学術調査協議会調査研究報告, p.251-260 (1980).
 - 28) K. Sugawara, Interlaboratory comparison of the determination of mercury and cadmium in sea and fresh waters, *Deep-Sea Research*, **25**, p.323-332 (1978).
 - 29) 株式会社環境分析センター, 海水中的水銀分析のクロスチェック報告書, p.1-7 (1979).
 - 30) 松本英二, 加藤甲壬, 松永勝彦, 東京湾における水銀の地球化学, 地球化学, **17**, p.48-52 (1983).
 - 31) 鹿児島県, 鹿児島湾の水銀に係る環境調査報告書, p.1-38 (1978).
 - 32) T. M. Leatherland, J. D. Burton, M. J. McCartney and F. Culkin, Mercury in North-Eastern Atlantic Ocean Water, *Nature*, **232**, p.112 (1971).
 - 33) D. Gardner and J. P. Riley, Distribution of dissolved mercury in the Irish Sea, *Nature*, **241**, p.527 (1973).
 - 34) 西村雅吉, 松永勝彦, 小西繁樹, 天然水中の水銀の定量法, 分化, **24**, p.655-658 (1975).
 - 35) 小西繁樹, 西村雅吉, 噴火湾海水の水銀, 特定研究海洋環境保全噴火湾の研究中間報告, p.51-54 (1977).
 - 36) M. Kunagai and H. Nishimura, Mercury distribution in seawater in Minamata Bay and the origin of particulate mercury, *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, **34**, p.50-56 (1978).
 - 37) 白石直典, 黒田俊夫, 沿岸海水中的水銀の定量, 分化, **29**, p. T1-T4 (1980).
 - 38) K. Matsunaga, M. Nishimura and S. Konishi, Mercury in the Kuroshio and Oyashio regions and the Japan Sea, *Nature*, **258**, p.224 (1975).
 - 39) 海上保安庁水路部, 水銀, 海洋汚染調査報告, 第11号, p.14-15 (1985).