鹿児島湾海底堆積物中の重鉱物分布特性

岡田, 博有
九州大学理学部

郭, 暁利
元, 静岡大学理学部地球科学科

大木, 公彦
鹿児島大学理学部地学教室

早坂, 祥三
鹿児島大学本部

https://doi.org/10.15017/4494715

出版情報：九州大学理学部研究報告. 地球惑星科学. 19 (2), pp.141-152, 1996-12-25. 九州大学理学部
バージョン：
権利関係：

九大理研報（地球惑星），19巻2号，141－152頁，1996年12月

鹿児島湾海底堆積物中の重鉱物分布特性

岡田博有・郭　暁利*・大木公彦**・早坂祥三***

Heavy mineral distributions in the surface sediments of Kagoshima Bay, Kyushu, Japan

Hakuyu Okada, Xiaoli Guo*, Kimihiko Ōki** and Shozo Hayasaka***

Abstract

Kagoshima Bay is located at the southern tip of the Kyushu Island, Southwest Japan. Topographically it is divisible into three portions: bay-head, central and bay-mouth. The bay-head area shows a typical caldera feature. Between the bay-head and central bay areas, a very active volcano Sakurajima is situated. The central bay area is ovoid in shape and is a little more than 200 m deep at the center. The bay-mouth area, about 100 m deep on average, constitutes a sill against the open ocean, making Kagoshima Bay as a whole a semi-closed basin.

In order to reveal distributional features of heavy minerals in such a semi-closed basin, 100 dredged samples in the bay area and 15 samples from the coastal sediments were analysed for heavy mineral examinations.

The result of heavy mineral analysis shows that the bay sediments are composed of magnetite, ilmenite, framboidal pyrite, biotite, hypersthene, clinopyroxene, common hornblende, zircon, apatite, chlorite, olivine, tourmaline, and moissanite in the order of abundance.

Of these minerals, biotite, hornblende, zircon, chlorite, framboidal pyrite and moissanite show very characteristic distributions, from which three petroprovinces Bay-head, Central Bay and Bay-mouth are discriminated. The Bay-head Petroprovince is characterized by a suite of framboidal pyrite and moissanite; the Central Bay Petroprovince by predominance of common hornblende, and the Bay-mouth Petroprovince by a suite of biotite-zircon-chlorite.

These petroprovinces clearly reflect both the provenance geology and flow systems of depositional sites. The Bay-head Petroprovince is a water-stagnant, closed basin with oxygen-deficient and very low pH values. The Bay-mouth area is under the influence of anti-clockwise flow of longshore currents.

Regarding the peculiar occurrence of moissanite, two possibilities have been suggested. One is that moissanite might have been brought into by a meteorite impact, and the other is that it was artificially dispersed after used as abrasive materials. The present data are impossible to give a proper answer to these possibilities.

平成8年9月13日受付，平成8年9月24日受理

* 元，静岡大学大学院理学研究科　Formerly, Division of Science, Graduate School, Shizuoka University, Shizuoka 422.

** 鹿児島大学理学部地学教室　Institute of Earth Sciences, Kagoshima University, Kagoshima 890.

*** 鹿児島大学本部　Administration Bureau, Kagoshima University, Kagoshima 890.

1．はじめに

鹿児島湾は南北75km，東西25kmほどもある長大な湾入地形を呈しており，中央部に桜島の活火山を配している（Fig. 1）．その成因は古くからカルデラ起源の特異な海湾とみなされてきた(Matsumoto, 1943)．近年，この地域の第三紀末大規模火山活動に伴う地塊運動による地溝形成が鹿児島湾の起源として有力視されてきた（露木，1969）．この鹿児島地溝（露木，1969）の形成と火山活動との関係解明や湾内の漁業生物生産の基礎資料を得る目的で鹿児島湾の海洋学的・地質学的研究が近年急速に進展している．

本研究は，これら地球科学的研究の一環として，鹿児島湾海底堆積物の重鉱物分析を行い，その分布特性を明らかにすることを目的とした．

2．鹿児島湾域の地質概説と海況

（1）海底地形

鹿児島湾は湾口部に水深約100mの隆起地形があって外洋と隔離した，いわば閉鎖的な海湾といえる．その海底地形の特徴から湾口部，湾中央部，湾奥部の3区域に分けられる（早坂ほか，1976a，b）(Fig. 2)．

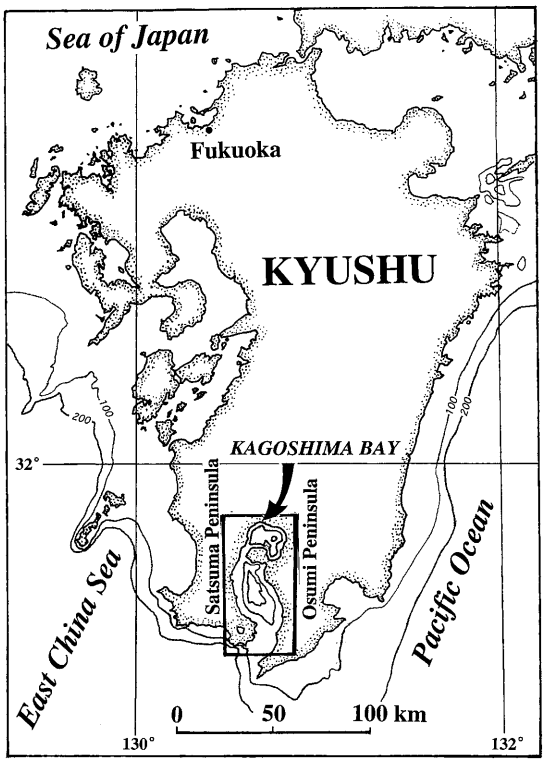

Fig. 1　Index map of Kyushu showing the location of Kagoshima Bay. The study area is indicated with a box.

湾口部は水深約230mの湾中央部と外洋との連結部で，幅約10km，奥行き約13km，水深約100m，中央が少し窪んだ浅い台地状の水道になっている．この水道東側の地形はMatsumoto (1943) の阿多カルデラの東壁と考えられていて急崖をなす．しかし，水道西側は陸棚平坦面が形成されている．

湾中央部は楕円形状の広がりを示し，湾内で最も広い海域である．その海底地形は盆状を呈し，ほぼ中央に約230mの最深部がある．湾底から両岸に向かい次第に浅化し，両岸ともに狭いながら陸棚がみられる．

湾奥部は桜島以北の海域で，西桜島水道で湾中央部とつながっている．本海域は急峻な地形で縁取られ，湾底最深部は北東部にあって水深約200mの盆状凹地をなす．湾主部は水深約140mの平坦面を作っている．この湾奥北面の急崖は姶良カルデラのカルデラ壁と考えられている．

（2）底質分布と海底地質

鹿児島湾の海底堆積物の粒度分布については，大木・早坂（1983），大木（1985）による詳しい研究がある．それによると，湾口部の底質は砂から礫(Mdϕ：−2〜4ϕ)，湾中央部海域はシルト質砂，砂・シルト・粘土混合相(Mdϕ：1〜7ϕ)，湾奥部海域は砂質シルトから粘土質シルトである．とくに潮流の影響を受ける西桜島水道では砂からなる．

Garranza *et al.* (1994) は湾内表層堆積物の粘土鉱物分析を行い，10Å-halloysite，kaolinite，smectite，illiteなどの粘土鉱物の存在とその分布を明らかにした．また，Ōki and Hayasaka (1978)，Ōki (1989)，大木（1986a，b）は詳細な底生有孔虫群集の解析を行い，生体・遺骸群集の分布特性を明らかにした．

なお，鹿児島湾奥部海底で火山性噴気孔の組織的な潜水調査が行われ，多くの貴重な地質学的・生物学的資料が得られた（根建ほか，1991）．

（3）海況

鹿児島湾の卓越流は主として1日2回の潮流である（高橋，1977）．湾口部北流最強時の流速分布では西桜島水道の東側が最も速く1.5〜1.7ノット，水道中央部では1.1〜1.2ノット．湾口部では0.3〜1.0ノット，湾中央部では0.1〜1.0ノット，湾奥部では0.1〜0.5ノットである．湾口南流最強時でも，西桜島水道で速く，1.5〜1.6ノットである．湾口で0.4〜1.1ノット，湾中央部の大隅半島側で0.1〜0.3ノットの南流を示すの

に対して，西側の喜入沖では約1ノットの北流となっている．

TAKAHASHI (1981) は海水の密度分布から季節的な海水鉛直循環系を示した．それによると，夏季は湾口部から下層を流入し，表層で流出している．湾中央部海域と湾奥部での深層水の停滞が顕著である．冬季には海面の冷却による鉛直対流が生じる．

このように，寒冷期を除き，100m 以深の水塊はほとんど停滞している（高橋，1977）．

大木 (1986b) は底生有孔虫遺骸の集積過程から，湾口部の大隅半島側を北上し，反時計回りに薩摩半島側を南下する湾内恒流系を示した．

（4）湾周辺陸上地質

鹿児島湾に流入する河川流域と湾岸域に分布する地質系統は，主として第四紀火砕流堆積物・火山岩類，白亜系・古第三系堆積岩類，新第三紀花崗岩類からなる（鹿児島県地質図編集委員会，1990）．

湾口部では，大隅半島側に分布する岩層は古第三紀四万十累層群砂岩・頁岩類，中新世大隅花崗岩，第四紀火砕流堆積物からなる．それに対し，薩摩半島側では第四紀の火山噴出物が分布している．

湾中央部では，東側の大隅半島に白亜紀四万十累層群，中新世高限山花崗岩類，第四紀火砕流堆積物が分布している．一方，薩摩半島側では，大隅半島と違って花崗岩を欠いている．

湾奥部は新第三紀～第四紀火山岩類，第四紀火砕流堆積物・火山岩類，東部には白亜紀四万十累層群が分布している．

3．試料および研究方法

（1）試料

本研究に使用した鹿児島湾海底試料103個は鹿児島大学水産学部敬天丸によって1972年と1979年にフレーガー式柱状採泥器で採取したものである（早坂ほか，1976a, b : ŌKI, 1989）．また，比較のために，沿岸要地で砂浜試料を数地点で採取した．

上記フレーガー式柱状採泥器で採取した試料は最上部1～5cm の部位を重鉱物分析に供用した．

（2）研究方法

次の手順で重鉱物分析までの試料処理を行った．

(a)過酸化水素による粒子分散：乾燥した試料が固い団塊を作っている場合は，30%過酸化水素液を蒸留水で15%に薄め，その中に試料を浸して堆積物粒子を分散させた．

(b)湿式篩い分け：上述(a)の方法でよく分散された試料を砂質部分と泥質部分に分けるため，湿式篩い分けを行った．

(c)粒度分析：乾燥した砂質部分試料は電動篩で1ϕ 間隔の粒度分析を行った．

(d)重鉱物分離と同定：重鉱物分離はツーレ氏重液（比重2.85）を用いて OKADA（1960）の方法に従った．各試料は3～4ϕ と2～3ϕ の粒度毎に行った．分離した重鉱物は粒子のままバルサムでスライドガラスに封じ込め，偏光顕微鏡で同定を行った．また，代表的な試料については粒子の薄片を作り，同定のクロスチェックを行った．さらに，特徴的な鉱物については X 線解析，EPMA 分析を行った．

4．結　果

（1）重鉱物種と特徴的鉱物

鹿児島湾海底表層堆積物の重鉱物は，黒雲母，紫蘇輝石，普通輝石，普通角閃石，ジルコン，カンラン石，電気石，ザクロ石，燐灰石，モアッサナイト，緑泥石，不透明鉱物（磁鉄鉱＞＞チタン鉄鉱＞＞球状黄鉄鉱）などからなる．

モアッサナイト（moissanite）については，EPMA 解析によって，珪素と炭素のみからなること，X 線解析によって SiC であることが判明した．さらに，光学的には一軸性，屈折率が非常に高い．形態は貝殻状断口を示し，菱状，卓状など不規則な形を呈す．色は深緑から藍色を呈し，多色性は弱い．

（2）重鉱物分布

a．重鉱物含有量

堆積物中の重鉱物含有量は粒度によって差異があることはよく知られている．著者らもこの点を念頭に置いて粒度による重鉱物含有量を検討し，3～4ϕ 粒度による重鉱物組成の検討が適当なことを明らかにした（横田ほか，1990）．本研究でも，2～3ϕ と3～4ϕ それぞれの粒度で含有量を検討した結果，3～4ϕ 粒度の方が重鉱物含有量が多いことを再確認した．したがって，本論文では3～4ϕ 粒度の資料により重鉱物組成，分布特性などを示していく．

鹿児島湾域では湾奥部の思川，別府川，検校川および垂水の高限川の河口砂に重鉱物が濃集している (Fig. 3)．全体として湾中央部の西岸域で少ない傾向がある．

b．鉱物種ごとの分布

(a)黒雲母：湾口部に集中的に分布している (Fig. 4)．

陸上河川では高限川河口に多産する．

(b)紫蘇輝石：湾全域に普遍的に産する (Fig. 5)．しか

し，傾向としては湾奥部がやや多く，とくに河川河口部で卓越している．

(c)普通輝石：紫蘇輝石と類似の分布傾向を示し，両者を合わせると重鉱物量の90%以上に達する．普通輝石は湾全域で高い含有量を示すが（Fig. 6），湾中央部西側がやや少ない．

(d)普通角閃石：湾全体に広く分布するが，湾奥部の北西側，湾中央部の西側，湾口部で含有量が大きい（Fig. 7）．

(e)ジルコン：ジルコンは全体として含有量が少ないが，湾口部に集中的に産する（Fig. 8）．湾奥部でも北側で散点的に分布する．

(f)燐灰石：湾口部に集中しているが，湾奥部にも散在している（Fig. 9）．

(g)緑泥石：緑泥石も遍在的な分布を示し，湾口部に集中するほかは湾中央部西側と湾奥部の北側に少量産出する（Fig. 10）．

(h)モアッサナイト：少量ながら湾奥部の北側に限定された特徴的な分布を示す（Fig. 11）．

(i)球状黄鉄鉱：湾奥部海域に広範に分布している（Fig. 12）．

5．考　察

（1）岩石区の設定

岡田（1989），Okada（1996）の岩石区の概念に従うと，鹿児島湾の海底表層堆積物の重鉱物分布傾向から，本海域を3つの岩石区に分けることができる（Fig. 13）．これらの岩石区は重鉱物の供給源や散布過程を明らかにするうえで極めて重要である．

a．湾口部岩石区

湾口部と湾中央部南端域は，ジルコン・黒雲母・緑泥石が共通して特徴的な分布を示し，他の海域とは明確に区分される．

b．湾中央部岩石区

本岩石区は湾中央部と西桜島水道を含む海域である．普通角閃石の分布量が貧弱なうえ，ジルコン・燐灰石を欠如していることで，他の海域とは区別される．

c．湾奥部岩石区

この岩石区は湾奥部海域で，球状黄鉄鉱とモアッサナイトの産出で特徴づけられる．

（2）重鉱物の源岩と散布

湾口部岩石区では，普通角閃石，黒雲母，ジルコン，緑泥石が特徴的な分布を示している．このうち，普通角閃石，黒雲母，ジルコンなどは陸上後背地の花崗岩の海岸侵食や河川により本海域に散布された．緑泥石は主に堆積岩類からもたらされたものであろう．とくに，流れに敏感である黒雲母（Doyle *et al.*, 1968）は湾口部を東側沿いに北進する流れによって（桜井，1983；桜井・前田，1980），大隅半島沿岸沿いに北方へ散布している．黒雲母と共通の源岩に由来したと思われるジルコンの散布範囲は黒雲母のそれより遙かに狭いのは比重および形状の違いによるもので興味深い．

紫蘇輝石・普通輝石・普通角閃石が湾域全体に多産するのは湾周辺の第四紀安山岩質火山噴出物によるもである．ただ，普通角閃石はやや分布に特徴があり，湾中央部では西側に卓越するのは薩摩半島側から供給されたものがその付近に残留しているものと思われる．

湾奥部岩石区に限定して多産する球状黄鉄鉱は自生鉱物であり，海水が停滞する湾奥部の海底における還元的な環境を示唆している．事実，この湾奥北東部の水深200mの海域では深層水塊のpHが異常に低く，水深200mでpH6.8が報告されている（坂元，1992）．また，水塊成層期の深層水のpHは4.8まで下がり，溶存酸素量は0.3ppmという低い値が知られている（鹿児島県，1978）．黄鉄鉱を作る硫黄成分は主としてこの付近の海底における熱水活動で噴出される硫化水素に由来する（根建ほか，1991）．

また，モアッサナイトの自然界での産出については，これまでアリゾナ隕石孔からの発見（嶋崎，1970）のほかキンバーライトに伴って産出した報告例が中国吉林省（Leung *et al.*, 1990）とシベリヤYakutiya (Marshintsev, 1990)で知られている．もちろん，わが国ではどこからも報告はないが，本研究例の起源として二つの可能性を指摘したい．その一つは隕石の衝突による超高圧鉱物の一つとして存在するもの，他は研磨材としての人工鉱物カーボランダム（carborundum）が人為的に混入したもの．前者の可能性については，湾奥部がこれまでカルデラ地形とされてきたが，隕石の衝突孔とすると，新たな研究の夢が広がるだろう．coesite，stishoviteなどの超高圧鉱物の共生が確認されると，その可能性は極めて高くなる．

カーボランダムが人為的に混入した可能性も否定できないが，それを確定するのは今のところ困難である．

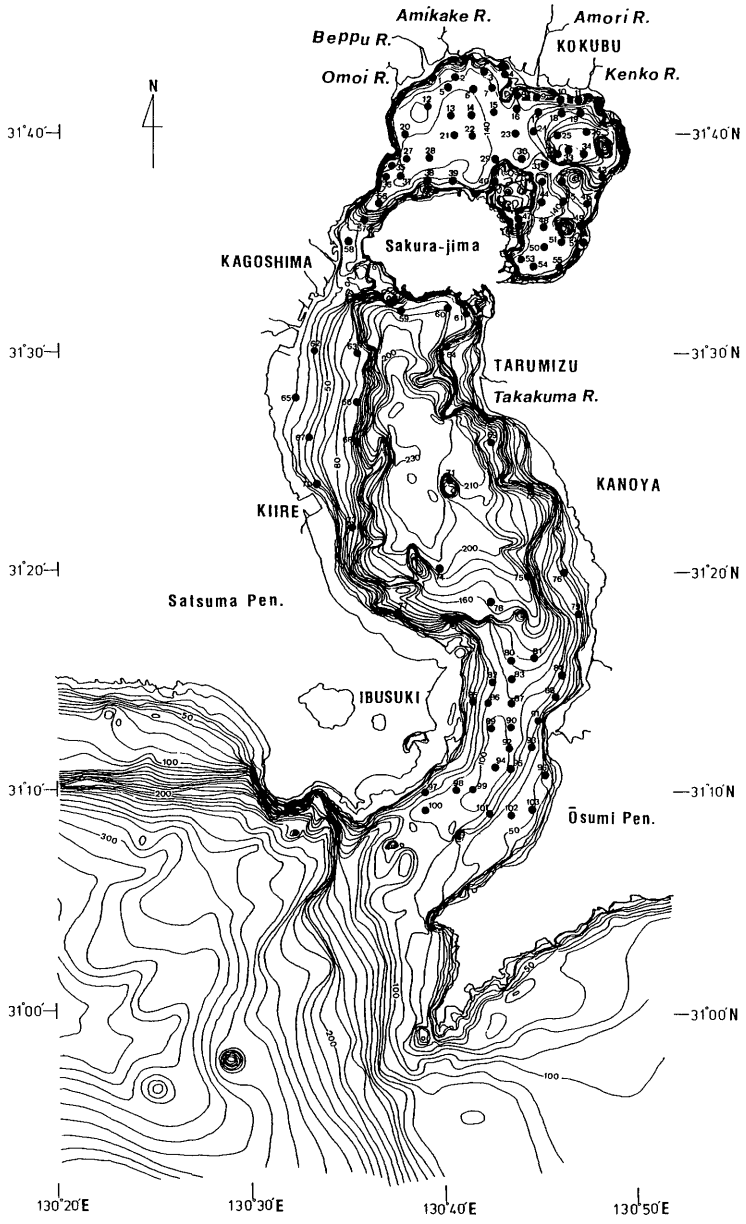

Fig. 2 Topographic map of Kagoshima Bay showing the locations of the samples used in this study. Contours in meters.

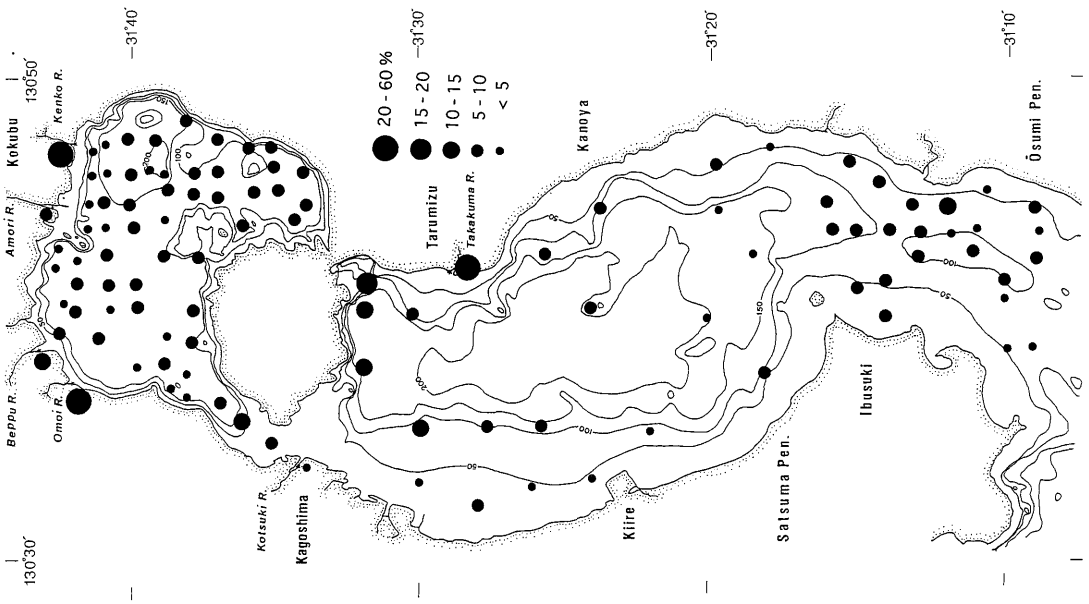

Fig. 3 Distribution of total amounts of heavy minerals in Kagoshima Bay (in weight percentage).

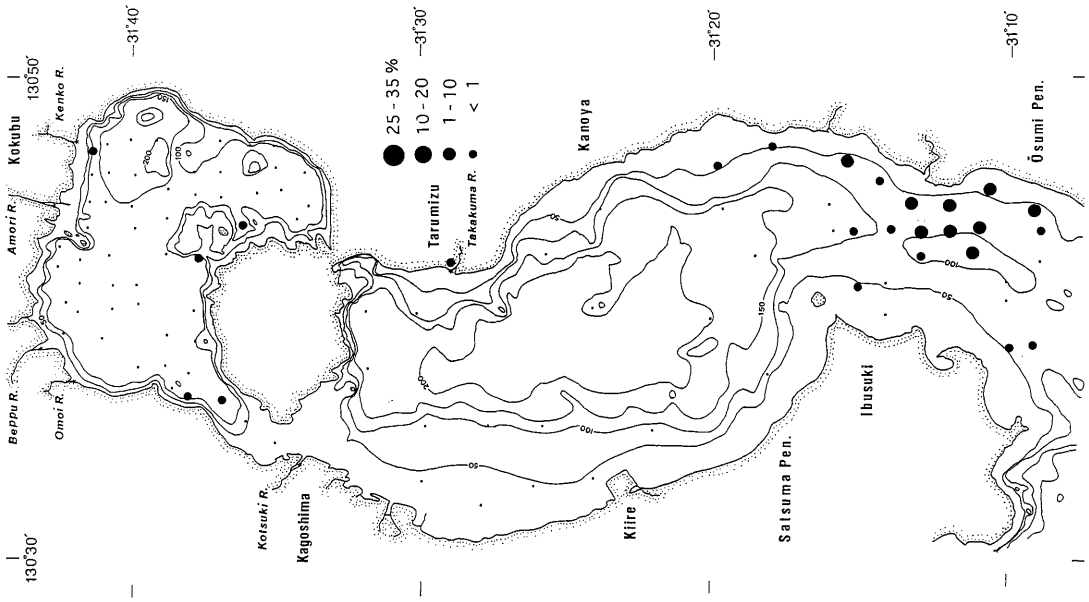

Fig. 4 Distribution of biotite in Kagoshima Bay.

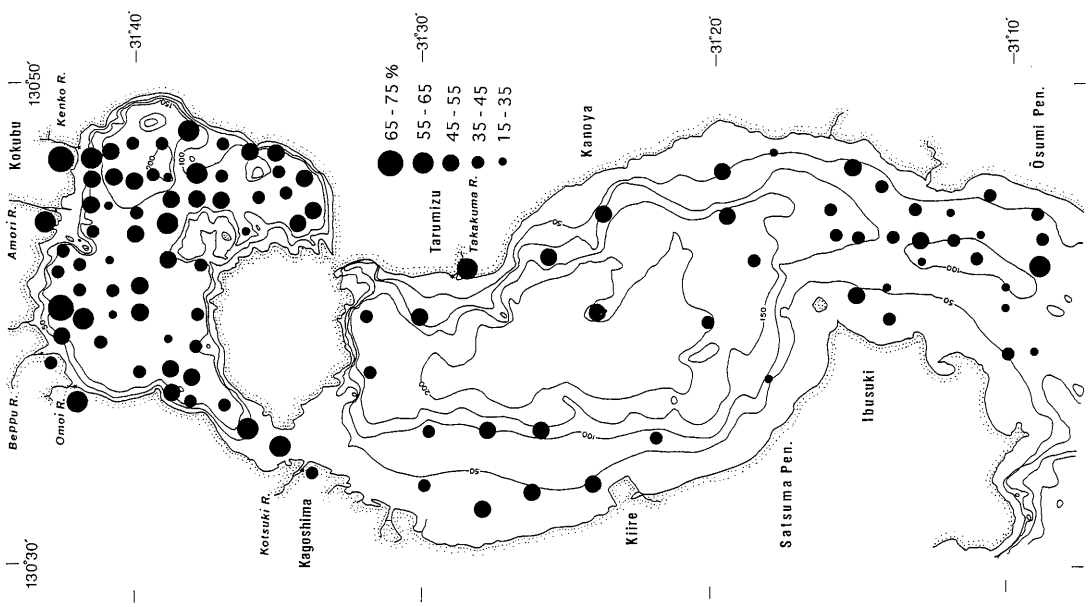

Fig. 5 Distribution of hypersthene in Kagoshima Bay.

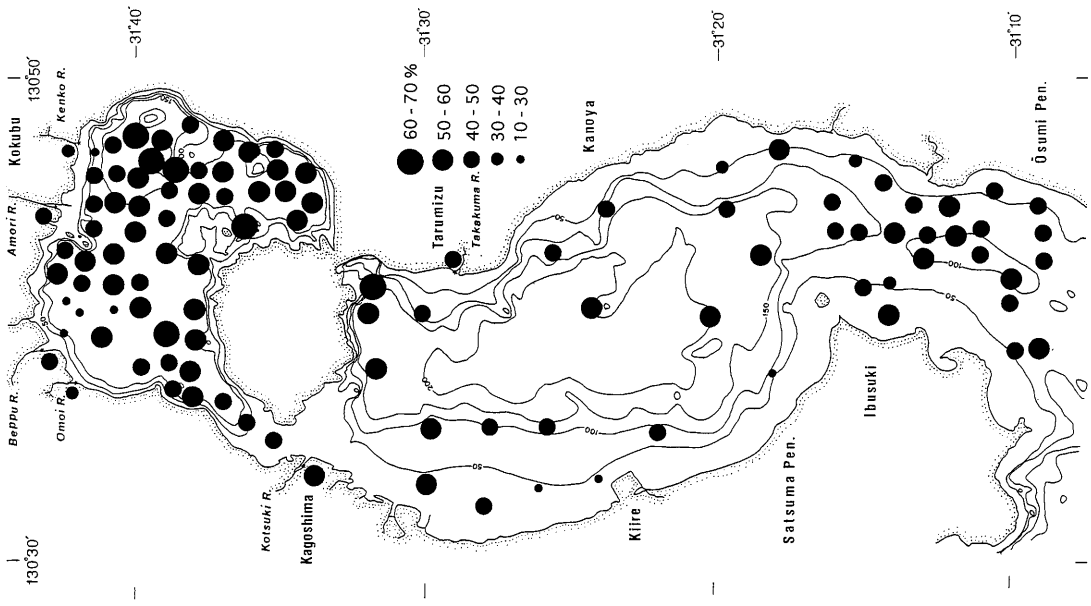

Fig. 6 Distribution of clinopyroxene in Kagoshima Bay.

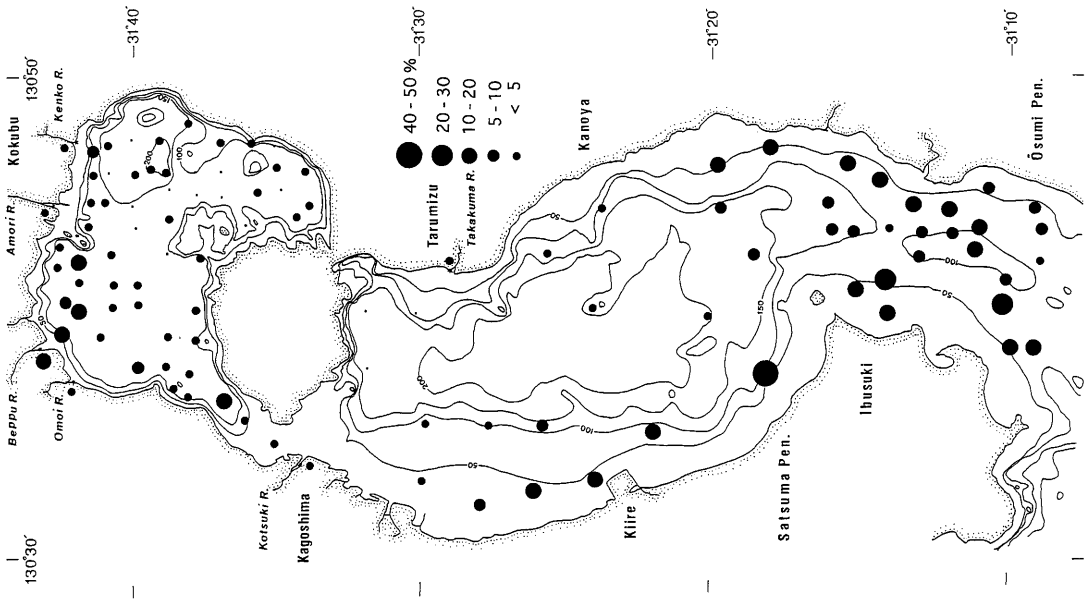

Fig. 7 Distribution of common hornblende in Kagoshima Bay.

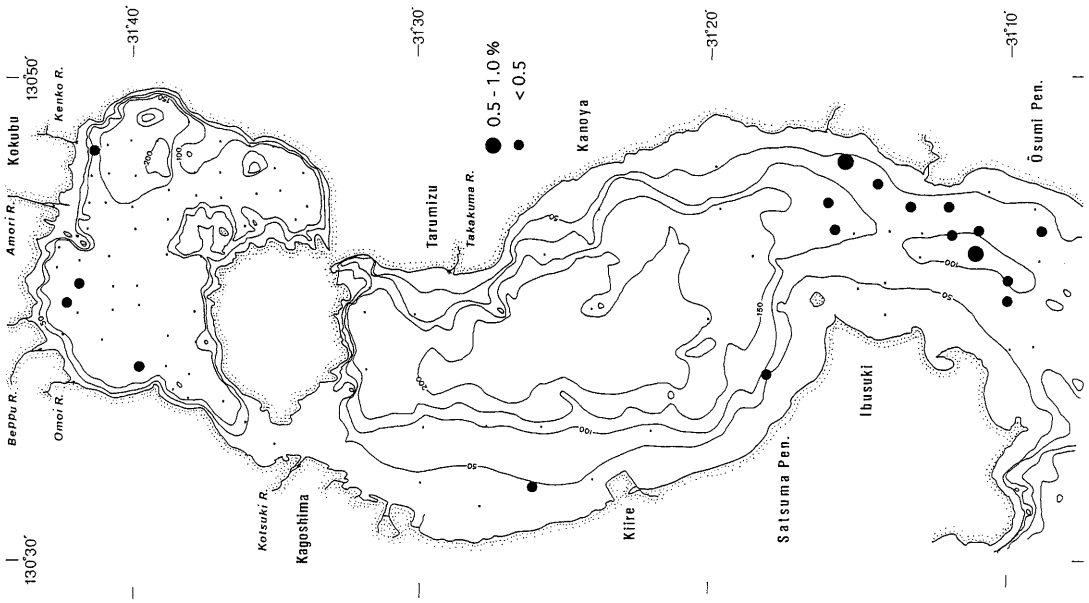

Fig. 8 Distribution of zircon in Kagoshima Bay.

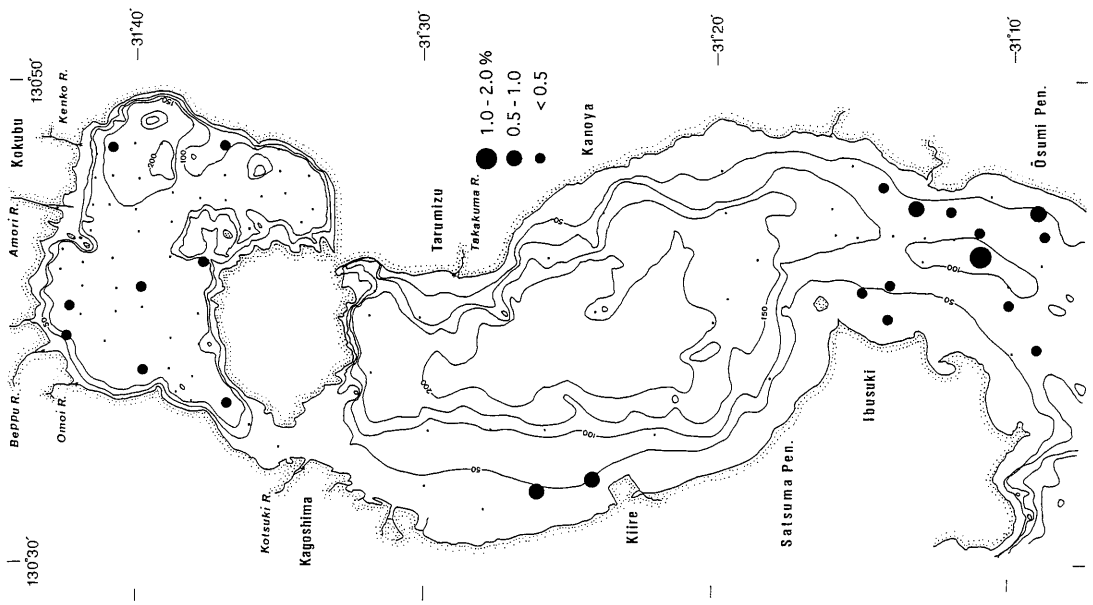

Fig. 9 Distribution of apatite in Kagoshima Bay.

ZU9-10

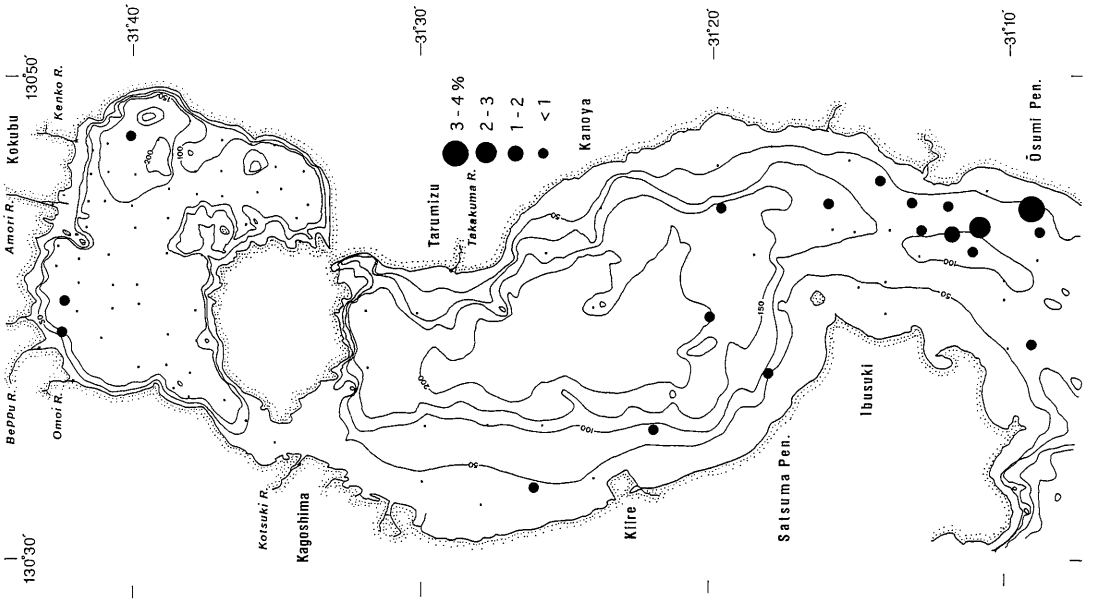

Fig. 10 Distribution of chlorite in Kagoshima Bay.

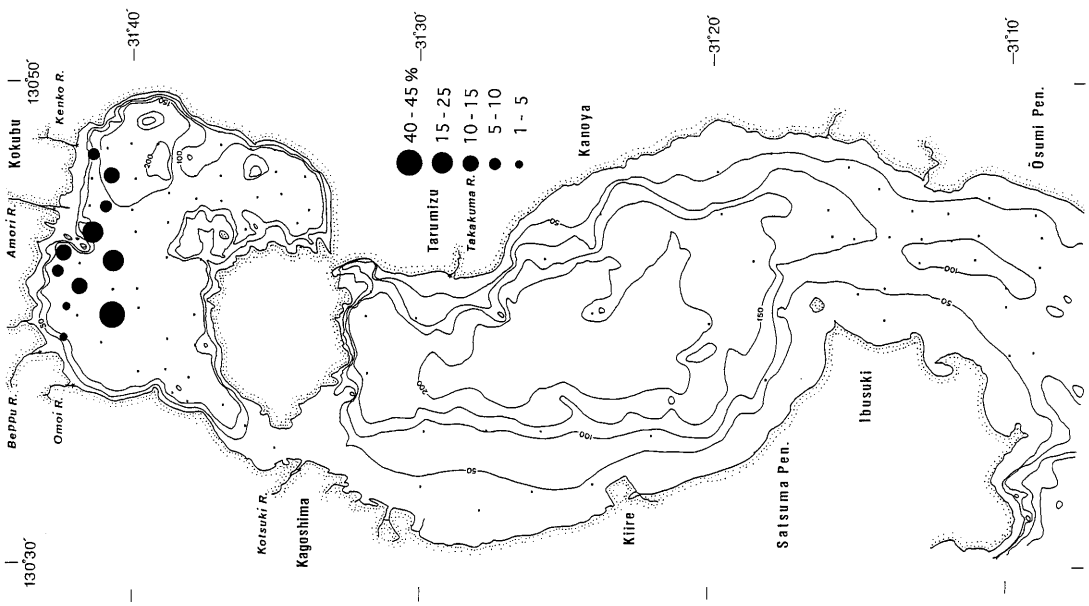

Fig. 11 Distribution of moissanite in Kagoshima Bay.

ZU11-12

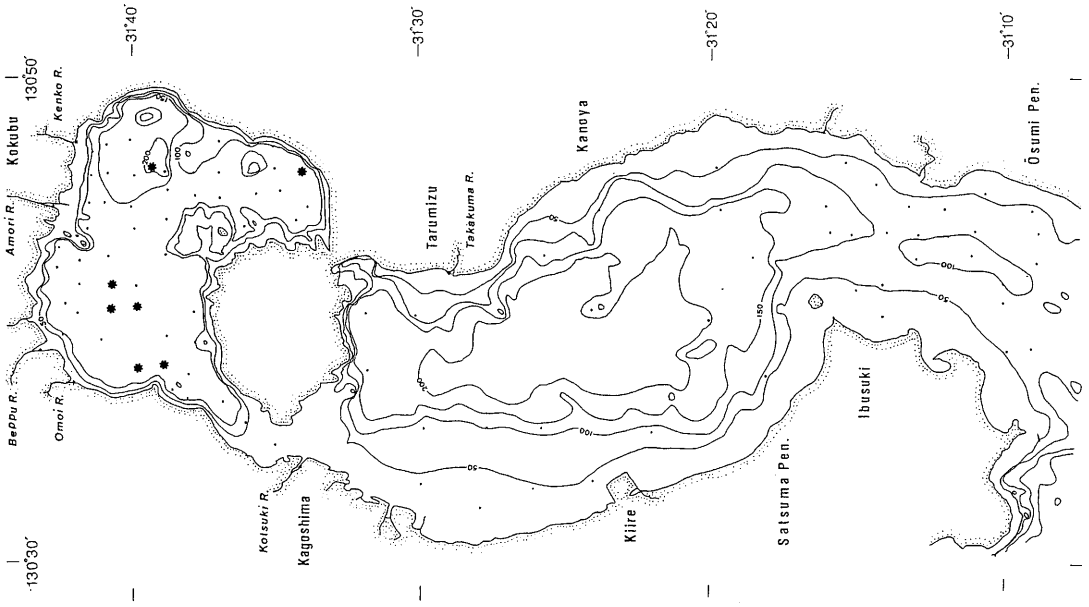

Fig. 12 Distribution of spherical pyrite in Kagoshima Bay.

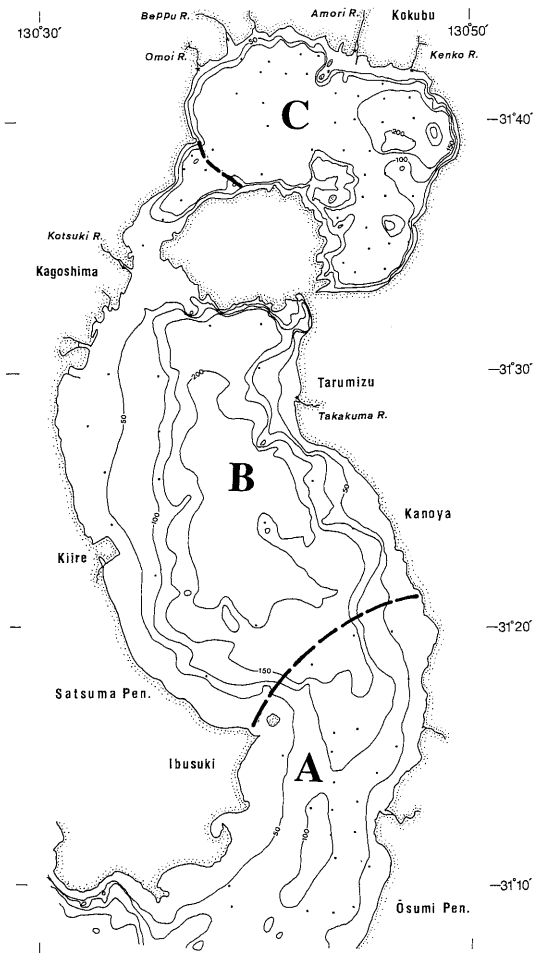

Fig. 13　Petroprovinces of the Kagoshima Bay area. A: Bay-mouth Petrorovince, B: Central Bay Petroprovince, C: Bay-head Petroprovince.

謝　辞

本研究を遂行するに当たり，鉱物同定でご教示をいただいた静岡大学理学部故鮫島輝彦教授・黒田　直教授，鹿児島湾の海況について資料をいただいた鹿児島大学水産学部高橋淳雄名誉教授・同工学部桜井仁人教授，天然産モアッサナイトについてご教示くださった九州大学理学部地球惑星科学科上原誠一郎博士に篤く御礼申しあげる．また，本研究の経費の一部は文部省科学研究費（基盤研究(A)代表者公文富士夫：課題番号07304040）を使用した．当局ならびに研究代表者に謝意を表する．

文　献

CARRANZA, C. U., TOMITA, K. and ŌKI, K. (1994): Preliminary report on the mineralogical studies of bottom surface sediments of Kagoshima Bay. *Rep. Fac. Sci., Kagoshima Univ. (Earth Sci. & Biol.),* (27), 23-40.

DOYLE, D. K., CEARY, W. J. and PILKEY, O. H. (1968): Mica: Its use in determining shelf-depositional regimes. *Marine Geol.,* **6**, 381-389.

早坂祥三・大木公彦・大塚裕之・東川勢二（1976a）：鹿児島湾口部の海底地形と底質（鹿児島湾の地質学的研究－II）．鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学），**9**，41-51.

早坂祥三・大木公彦・大塚裕之・東川勢二（1976b）：鹿児島湾奥部の海底地形と底質（鹿児島湾の地質学的研究－III）．鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学），**9**，53-73.

鹿児島県（1978）：鹿児島湾の水銀に係る環境調査報告書．38p.

鹿児島県地質図編集委員会（1990）：鹿児島県の地質．鹿児島県，117p.

LEUNG, I., GUO, W., FRIEDMAN, I. and GLEASON, J. (1990): Natural occurrence of silicon carbide in a diamondiferous kimberlite from Fuxian. *Nature,* **346**, 352-354.

MARSHINTSEV, V. K. (1990): Natural silicon carbide in kimberlitic rocks of Yakutiya. *Mineral. Zhurnal,* **12** (3), 17-26. (in Russian)

MATSUMOTO, T. (1943): The four gigantic caldera volcanoes of Kyushu, Japan. *Japan. Jour. Geol. Geogr.,* **19**, 1-57.

根建心具・上野宏共・大木公彦・早坂祥三・小坂丈予・野上健治・伊藤信夫・橋本　惇（1991）：鹿児島湾北部，若御子カルデラの"たぎり"湧出部における底質および硫化物脈．海洋科学技術センター試験研究報告，1991，235-243.

OKADA, H. (1960): Sandstones of the Cretaceous Mifune Group, Kyushu, Japan. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, Geol.,* **10** (1), 1-40.

岡田博有（1989）：日本列島中生界砂岩の岩石学的特性――その総合化と地質学的意義解明に向けて――．変動帯の砂岩，（1），1-3.

OKADA, H. (1995): Cretaceous petroprovinces in the

Japanese Islands and their tectonic significance. *Proc. 3rd Intern. Symp. IGCP 350 "Cretaceous Environmental Change in East and South Asia"*, 1.

大木公彦（1986a）：鹿児島湾の底生有孔虫生体群集の予察的研究．的場保望・加藤道雄編：新生代底生有孔虫の研究，13-26.

大木公彦（1986b）：底生有孔虫のL/TI値から見た堆積速度――鹿児島湾の研究――．月刊海洋科学，**18**(9)，588-592.

ŌKI, K. (1989): Ecological analysis of benthonic foraminifera in Kagoshima Bay, South Kyushu, Japan. *South Pacific Study, Kagoshima Univ. Res. Center for the South Pacific,* **10** (1), 1-191.

ŌKI, K. and HAYASAKA, S. (1978): Geological study on Kagoshima Bay, South Kyushu, Japan. Part IV-A note on the peculiar mode of occurrence of foraminifers in the bottom sediments of the bay-head area. *Rep. Fac. Sci., Kagoshima Univ. (Earth Sci. & Biol.),* (11), 1-11.

大木公彦・早坂祥三（1983）：鹿児島湾の底質と地形――特に底質からみた鹿児島湾の海水の動きについて――．沿岸海洋研究ノート，**21**（1），1-10.

坂元隼雄（1992）：鹿児島湾北部海底噴気孔周辺の水質および底質の特異性．平成3年度鹿児島大学教育研究学内特別経費研究報告，6-10.

桜井仁人（1983）：鹿児島湾口を通しての海水流出入．沿岸海洋研究ノート，**21**，45-52.

桜井仁人・前田明夫（1980）：鹿児島湾口における流速測定．沿岸海洋研究ノート，**18**（1），45-51.

嶋崎吉彦（1970）：モアッサナイト．地学事典，平凡社，1089.

高橋淳雄（1977）：鹿児島湾の水理沿岸海洋研究ノート，**14**（1・2），19-24.

TAKAHASHI, T. (1981): Seasonal differences of the circulation processes in a coastal basin nearly closed by land. *Ocean Management,* **6**, 189-200.

露木利貞（1969）：九州地方における温泉の地質学的研究．第5報――鹿児島地溝内に湧出する小温泉．鹿児島大・理・紀要（地学・生物学），**2**，85-101.

横田美保・岡田博有・有田正史・池原　研・盛谷智之（1990）：島根半島沖海　底表層堆積物における重鉱物分布．九大・理・研報，**16**（2），59-86.