

有明海熊本沖における海域環境の変動に対する 生物多様性の応答の解析

ANALYSIS FOR RESPONSE OF DIVERSITY TO CHANGE OF OCEANIC
CONDITION, OFF KUMAMOTO, ARIAKE SEA.

秋元和實¹・田中正和²・滝川清³

Kazumi AKIMOTO, Masakazu TANAKA and Kiyoshi TAKIKAWA

¹理博 熊本大学准教授 沿岸域環境科学教育研究センター (〒860-8555 熊本県熊本市黒髪2-39-1)

²長崎県立長崎北高等学校 (〒851-1132 長崎県長崎市小江原1-1-1)

³フェロー 工博 熊本大学教授 沿岸域環境科学教育研究センター (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

The purpose of this paper is evaluating the influence of the oceanic and bottom condition on diversity in benthic organism after 1960. Diversity in benthic foraminifers is evaluated by the species diversity, equitability and number of species. The variance of species diversity was only controlled by the change of equitability. The decrease of species diversity and equitability was restricted in the northern area (off Yokoshima and Kikuchigawa) from 1970 to 1990. Low equitability indicated that few species having high tolerance to an unusual condition increased overwhelmingly in an assemblage. The main factor of the decrease of species diversity and equitability is the distribution pattern of the low-salinity offshore and high-salinity oceanic waters indicated by P/T ratio, and secondary factor is the grain components shown by sand contents.

Key Words : Benthic foraminifers, fossil, diversity, oceanic condition, Ariake Sea

1. はじめに

熊本県沖有明海沿岸では、1980年代以降、底質が細粒化し(秋元ほか¹⁾、アサリの漁獲量が著しく減少している(菊池²⁾。一方、有明海全域における非漁獲対象生物群の分類学的研究からは、新種を含めて高い生物多様性にあるとの報告もある(森³⁾。多様性は、生息環境の再生と漁業資源を回復に向けた方策を選択するために、不可欠な情報である。漁獲対象種および非漁獲対象種で多様性が異なる原因を検討し、沿岸に生息する採貝種に影響を与えた要因の解明は、重要な課題である。

この課題の解明には、広域に生息する同一の生物群を用いた多様性の解析が必要である。本研究で用いた底生有孔虫は広範な海洋環境に適応して生息し、その石灰質あるいは膠着質の殻は化石として海成堆積物から多産する(Murray⁴⁾。それぞれの種は、環境因子に対する耐忍性の特性が異なる。このため、海域環境の変動に鋭敏に応答して、底生有孔虫群集の多様性は変化する。Akimoto and Tanaka⁵⁾は、有明海全域で現生群集を用いて、海域環境に対する多様性の分布特性を報告している。

本研究は、1960年以降に異なる海域環境下で堆積した地層から産出した化石群集に基づいて、多様

性の時空間的変化を把握した。さらに、現生群集で報告されている多様性の分布特性に関する情報を基に、化石群集の多様性に影響を与えたと推定される主要な環境要因(水塊分布、粒度組成、有機物付加)との相関を解析した。

2. 試料・分析手法

(1) 柱状試料の採集地点と水塊との関係

鎌田⁶⁾は、菊池川—緑川沖の熊本沖沿岸水(水温26℃、塩素量17‰)と湾央の外海水(水温25.5℃、塩素量17‰)の分布を示した。1979年9-10月には、表層の塩分が30-32‰の沿岸水と34‰の外海系水が接し、沿岸水—外海系水の境界で塩分は急変していた(木下ほか⁷⁾。白川—緑川沖で報告された北東—南西に延びる両水塊の境界は、2003年および2004年にもほぼ同じ場所に存在していた(図-1)。この境界には、3次元流動シミュレーションで潮汐残差流の鉛直循環が表現される(滝川ほか⁸⁾。

沿岸水塊と外海系水塊の水平および鉛直分布を考慮して、外海系水塊分布域(緑川沖:K1, 横島沖:K2), 沿岸水—外海系水境界(白川沖:K-st.3)および沿岸水分布域(菊池川沖:K-st.12)から、潜水によって不擾乱の柱状底質試料を採集した。

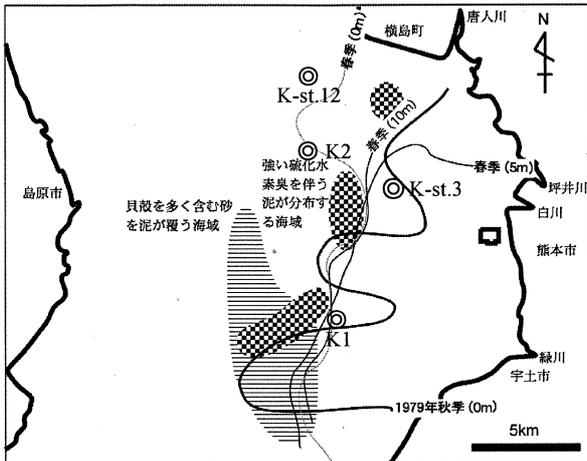


図-1 試料採集位置と沿岸水—外海系水境界との関係 (秋元ほか¹⁾に加筆)

(2) 柱状試料の処理

柱状試料を層厚 1cm 毎に切り分け、亀丸⁹⁾に従って有孔虫分析用試料は処理を行い、粒径 63 μ m 以上の乾燥した残渣を分割器によって正確に縮分した。堆積物に占める直径 63 μ m 以上の碎屑粒子および生物遺骸の割合を、含砂率として算出した。

柱状試料の ²¹⁰Pb および ¹³⁷Cs 年代の測定はジオスペース社に、K2 の化学的酸素要求量、全窒素、酸揮発性硫化物の分析は同仁グローバルに依頼した。

(3) 群集構造の解析

生息環境の変化に対応して、群集構造も変化する。小論では、群集構造の特性を、一般に用いられている種多様度 ($H(s)$)、均衡度 (E)、種数 (S) で表した。

多様性の指標としての種多様度は、Shannon-Weaver 情報関数に基づき、 $H(s) = -\sum p_i \ln p_i$ (p_i は i 番目の種の割合を示す) (1) と表される。また、Buzas and Gibson¹⁰⁾ は、均衡度を $E = e^{H(s)} / S$ (2) と定義した。これらの鉛直分布によって、多様性の経年変化が理解できる。

式(2)を変形すると、 $H(s) = \ln(E \cdot S)$ (3) となり、種多様度は種数と均衡度とに関連して算定される。試料採集地点ごとに 3 つの値を比較することで、地理的差異と水塊との関係が明らかにできる。

この式は、種多様度が種数の積に関係していることも示している。したがって、種数を一定にする必要がある。種数は、摘出する個体数が増えれば多くなるが、ある個体数を超えるとほとんど増えなくなる変曲点が存在する。有孔虫では 200 個体付近に、変曲点がある (石崎¹¹⁾)。そこで、1 分割試料に約 200 個体の底生種が含まれる試料を選び、浮遊性および底生種の全個体を抽出した。

底生種は、Akimoto et al.¹²⁾に従って、同定した。浮遊性種が外海系水にのみ生息することから、全有孔虫個体数に対する比 (浮遊性有孔虫比: P/T ratio) を算出して、外海系水の影響の程度を表す指標とした。

3. 結果

(1) 含砂率の鉛直変化

K-st.3 除いて、K1 では 1960 年代から、K2 および K-st.12 では、1970 年代から砂が増加している (図-2)。K1 と K-st.12 では、1990 年頃から比率が急減して、現在では 1960 年代の値と同じである。

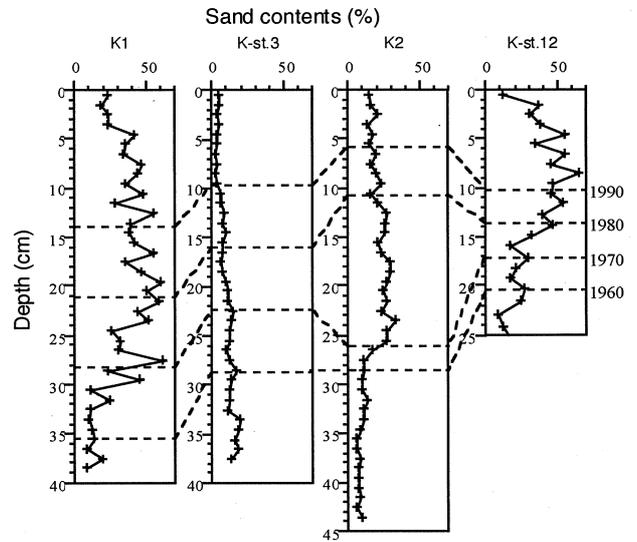


図-2 含砂率の層的变化

(2) 有機物量の鉛直変化

a) 化学的酸素要求量

深度 28.5cm より下位の試料 (1960 年以前) では、極小 (6.1-6.6 mg/g) であり、7.5cm から 26.0cm (1970 年代から 1980 年代半ば) にかけて、6.7 mg/g ~ 10.0 mg/g の間で変動する。それより上位では増加して 12.0 mg/g に達する (図-3)。

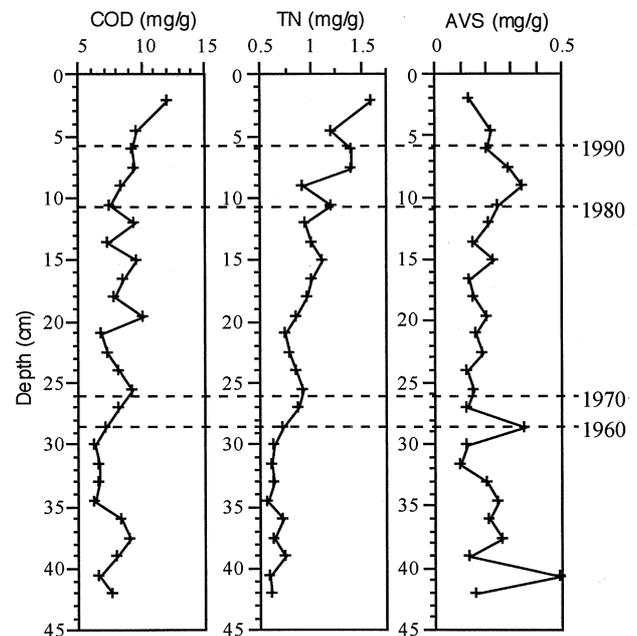


図-3 化学的酸素要求量、全窒素、酸揮発性硫化物の層的变化

b) 全窒素

1960年より古い堆積物に含まれる全窒素の量は、0.73以下であるが、それより若い堆積物では増加して、表層では1.60mg/gである。

c) 酸揮発性硫化物

深度28.5cm(1960年)および9.0cm(1980年代半ば)に極大(0.35mg/g, 0.34mg/g)以外は、0.12から0.24の間で変化する。表層から9.0cmの層準では、上方に向かって減少している。

(3) 浮遊性有孔虫比の鉛直変化

外海系水の影響を受けているK1では、(1960年代後半)および深度16-17cm(1980年代半ば)を除いて、5%以上である(図-4)。沿岸水の分布するK-st.12では、5%以下である。現在外洋水の分布域にあるK2では、深度6-27cm(1970-1990年代)にかけて、しばしば5%以下である。これに対して、沿岸水—外海系水境界の直下にあるK-st.3では、この時代(深度16-20cm)でのみ5%を超えている。

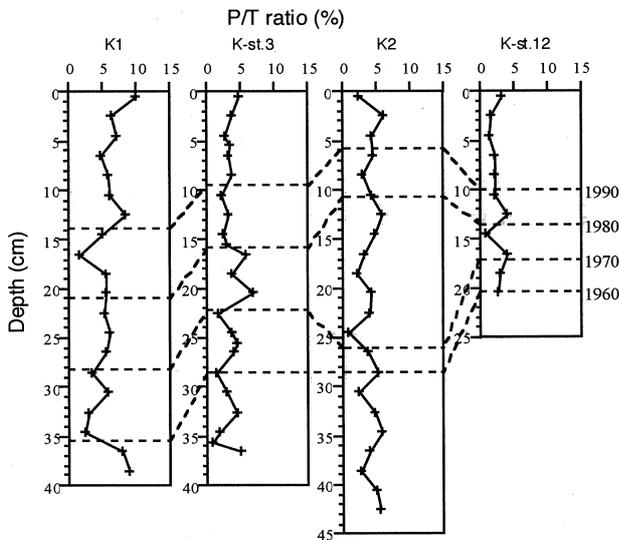


図-4 浮遊性有孔虫比の層的变化

(3.03)であり、上方に向かって単調に減少して、深度10-11cm(1965年頃)で極小(2.25)になり、その上位では増加している。

b) 均衡度

均衡度は群集を構成する種がどのような割合で含まれているかを示す指標で、全ての種が同じ割合である場合は最大値1となり、ある1種が卓越する群集では0に近い。

K1では0.54-0.71(平均:0.61, 標準偏差:0.05)であり、層的变化が少ない(図-6)。K2では0.42-0.67(平均:0.55, 標準偏差:0.08)であり、深さ18-25cmおよび30-31cmでは極小(0.42-0.46)となる。K-st.3では、0.46-0.63(平均:0.55, 標準偏差:0.05)である。層的变化が認められ、深さ6-9cm, 12-13cm, 18-19cmで0.5未満であるが、他の群集では0.52以上である。K-st.12では、最大でも0.40(平均:0.34, 標準偏差:0.05)であり、他の試料の数値に比べて著しく低い。深度10-13cm(1980年代前半)では、極小(0.25)になる。

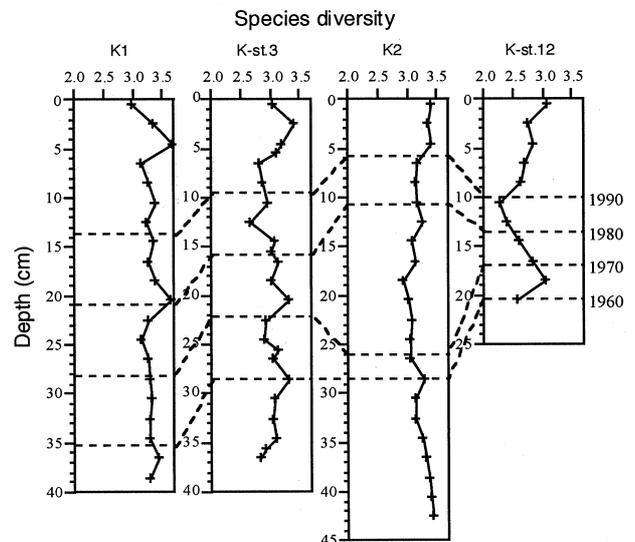


図-5 種多様度の層的变化

(4) 群集構造の鉛直変化

a) 種多様度

K1では、表層(深度0-1cm)の2.97を除いて3.13-3.66(平均:3.30, 標準偏差:0.16)であり、ほぼ一定である(図-5)。K2では、深度18-19cm(2.93)を除いて、3.02-3.44(平均:3.21, 標準偏差:0.15)である。しかしながら、層的变化が認められ、深度34-35cmから上方に向かって減少し、深度18-19cm(1975年頃)で最小になり、それより上位では増加している。K-st.3では、2.66-3.39であり、(平均:3.03, 標準偏差:0.18)である。K-st.12では、深度0-1cm(3.06)および18-19cm(3.03)を除いて、2.25-2.82(平均:2.69, 標準偏差:0.25)である。この試料においても、層的变化が認められ、深度18-19cm(1990年頃)で極大

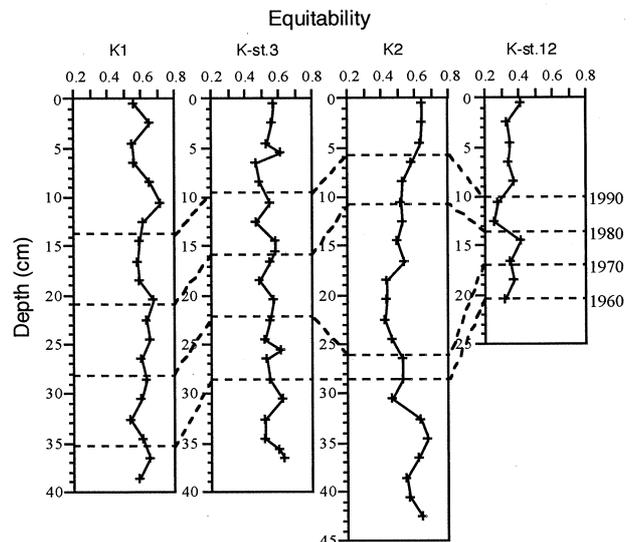


図-6 均衡度の層的变化

c) 種数

K1では、深さ4-5cmの71を除いて、35-57（平均：45，標準偏差：7.9）である（図-7）. K2でも37-54（平均：46，標準偏差：4.7）である. K-st.3では、深度36-37cmの27を除いて、31-54（平均：39，標準偏差：6.4）であり，K-st.12では，33-53（平均：44，標準偏差：7.4）である. したがって，種数に地理的相違および層位的変化はない.

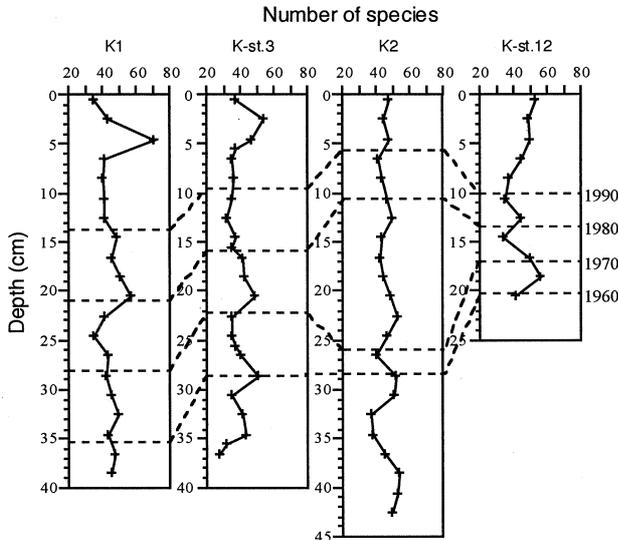


図-7 種数の層位的変化

4. 考察

(1) 多様性を变化させる要因

試料毎に，種多様度を求めた後，種多様度と種数を用いて均衡度を求めた. 式 (3)に基づいて，種多様度，種数，均衡度の関係を図示した（図-8）.

種多様度の低下は，調査海域北部に位置する沿岸水分布域（K-st.12）および外海系水分布域（K2）で

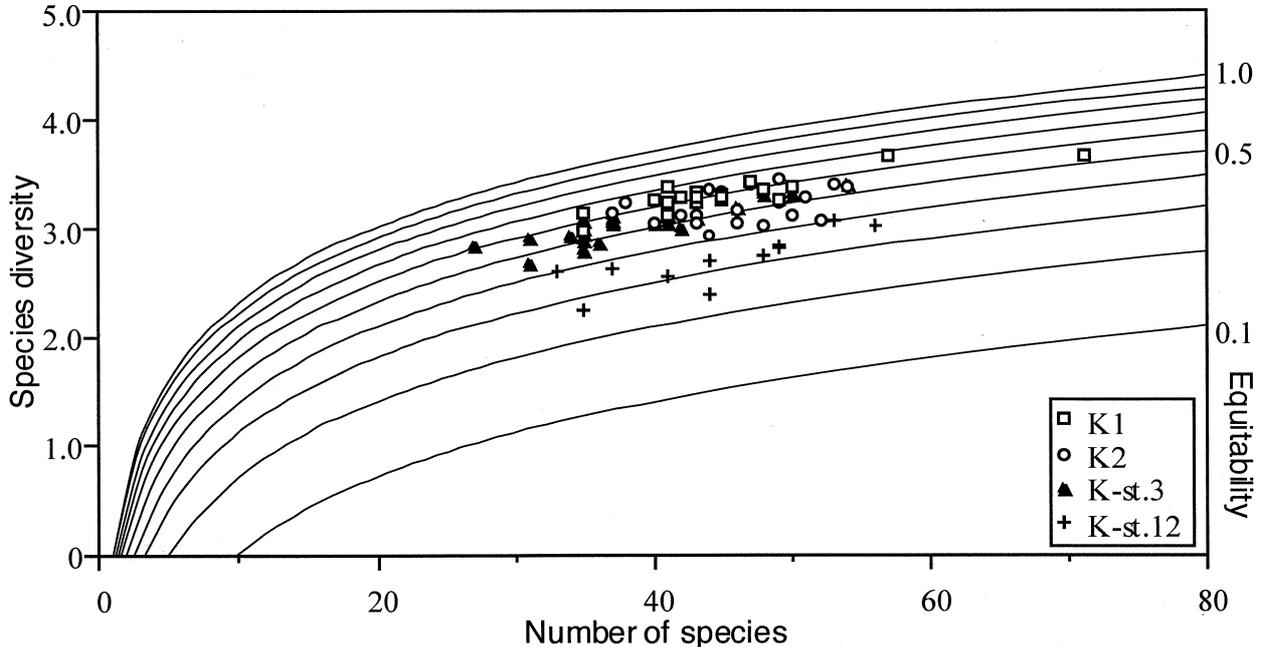


図-8 各柱状試料における種多様度，均衡度，種数の相互関係（図中の曲線は均衡度を，各曲線の値は右側の枠外に表示している。）

発生し，沿岸水の影響の大きいK-st.12で著しく減少している. 一方，4試料における種数の平均は，39-46と比較的狭い範囲にある. したがって，種多様度の低下は，均衡度の低下に起因している. このことは，限定された種が優勢になり，種構成が単調化したことを示している.

(2) 多様性に対する環境因子の影響

均衡度の低下を誘発する要因は，環境変化に対する有孔虫種の耐忍性の差異である. 沿岸域に生息する種では，塩分，粒度，有機物付加に対する耐忍性に明瞭な差異がある（Akimoto and Tanaka⁵⁾). そこで，化石群集の多様性と塩分，粒度，有機物付加との相関を議論する.

a) 外海系水・沿岸水の分布

有明海全域の現生群集において，種多様度は，外海系水分布域では3以上，沿岸水分布域では3以下である（Akimoto and Tanaka⁵⁾). 熊本沖の化石群集の結果は，外海系水分布域では3以上，沿岸水分布域では2.8以下，沿岸水-外海系水境界では，両者の中間の値である. 化石群集の種多様度の数値は，現生群集のそれと一致している.

現生群集の均衡度は，外海系水分布域では0.4-0.6，沿岸水-外海系水境界では0.6以上，沿岸水分布域では0.4以下である（Akimoto and Tanaka⁵⁾). 化石群集の数値も，現生群集のそれと近似している.

化石群集の種多様度および均衡度が，現生群集のそれと一致あるいは近似していることは，群集が生息した当時の水塊の違いを反映しているとみなせる. 両者が水塊の違いを反映しているのであれば，鉛直変化の増減は，外海系水と沿岸水の分布に関係していることになる. 全ての化石群集を用いて，浮遊性有孔虫比と種多様度あるいは均衡度との相関を調べ

た。前者では $y=0.3x+1.9$, $r=0.452$ (図-9a), 後者では $y=0.11x+0.083$, $r=0.470$ であり, 相関が認められた (図-9b)。しかしながら, 浮遊性有孔虫比と種数との相関は認められない (図-9c)。

浮遊性有孔虫比の層位的変化 (図-4) は, 1970-1980年代の沿岸水と外海系水の分布は, 現在とは異なり, 横島沖への外海系水の流入が弱かったことを示している。この結果, 沿岸水の影響が強まり, 均衡度の低下, すなわち群集内で塩分低下に耐忍性を有する種が優占する状況になったと考えられる。

b) 底質の粒度変化

含砂率と種多様度, 均衡度, 種数との相関を表した (図-10) が, いずれのグラフにおいて相関は認められない。しかしながら, K1 では1960年代から, K2 および K-st.12 では砂の割合が増加している (図-2)。K1 および K-st.12 では, 1990年頃から比率が急激に低下して, 現在では1960年代の値と同じである。したがって, 特定の水塊において, 粒径が多様性に関与している可能性を否定できない。沿岸水の影響を受けた北部 (K2 および K-st.12) では, 含砂率と種多様度には $y=-0.016x+3.398$, $r=0.758$, 均衡度には $y=-0.016x+3.398$, $r=0.758$ の負の相関が認められた。このことは, 多様性の低下において, 沿岸水の影響の増加が主要因であって, 粒度組成の変化は副次的要因であることを示している。

c) 有機物の付加

秋元ほか¹³⁾は, K-st.3の有孔虫群集が, 1970年代から1990年代にかけて, 陸域から流入した有機物量の増減にตอบสนองして, 有機物付加が盛んな環境に生息する種の増減を報告している。有機物付加の増減は, 熊本市沖の表層堆積物の強熱減量の経年変化ともほぼ一致している (熊本能力研究センター¹⁴⁾)。一方, この化石群集では, 多様性が低下していないことから, 種構成が変化しないで, 種の頻度が増減していることを表している。

K2では, 多様性が1970年頃から1990年頃にかけて低下しているが, 化学的酸素要求量, 全窒素, 酸揮発性硫化物の鉛直変化とは一致しない。したがって, 有機物付加が多様性に影響している直接の証拠は得られなかった。

(3) 漁獲対象種に対する環境変化の影響

秋元ほか¹⁵⁾は, 同じ柱状試料で, 1970年代後半に含砂率の急増とアサリ化石の多産, ならびに1980年代以降の含砂率と個体数の減少を報告した。この変化がアサリの漁獲量の経年変化と一致するので, 漁獲量の変動と粒度の変化が関係するとしている。

現在外海系水の影響下にあるK2であっても, アサリ化石の多産層準では, 底生有孔虫の均衡度と浮遊性有孔虫比が低下し, 沿岸水の影響が強まっている。

アサリの漁獲量の極大期に, 底質が粗粒化し, 沿岸水が強化したことは, 覆砂などの粒度組成を変える対策が, 沿岸水分布域に生息するアサリの個体数の増加に有効であることを示唆している。

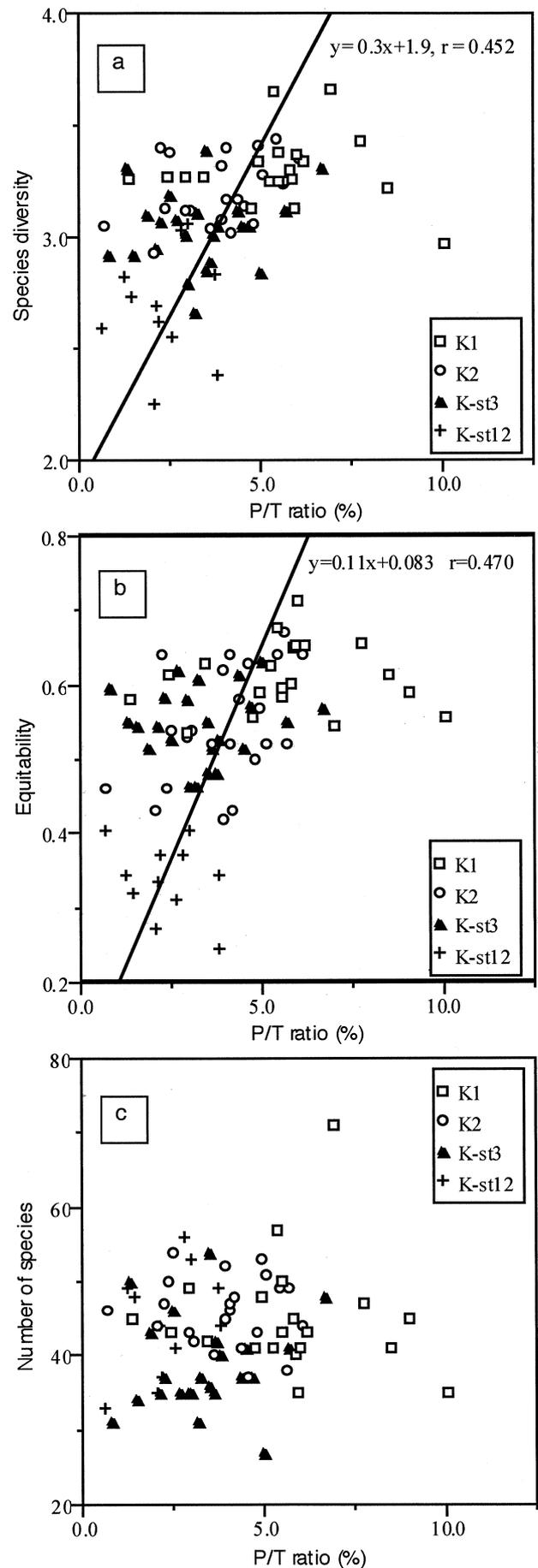


図-9 浮遊性有孔虫比と種多様度 (a), 均衡度 (b), 種数 (c)との相関関係

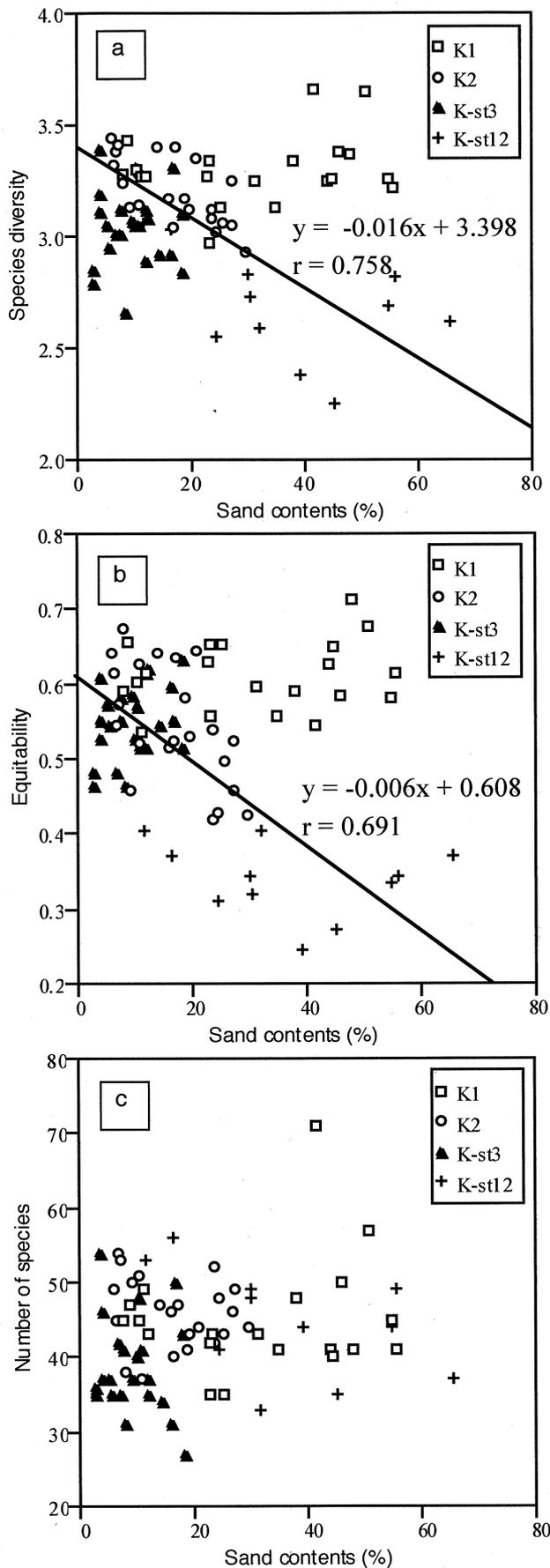


図-10 含砂率と種多様度 (a), 均衡度 (b), 種数 (c)との相関関係

5. 結論

海域環境の変化が生物多様性に与える影響を、底生有孔虫の種多様度、均衡度および種数に基づいて評価した。多様性の減少は均衡度の低下を反映し、その原因は低塩分耐性種が優占したことによる。

1970-80年代に沿岸水の影響が強まり底質も粗粒化したことがアサリを急増させたことは、逆に温暖化で外海系水が砂泥干潟にまで影響するようになれば個体数の減少を引き起こす可能性を示している。

参考文献

- 1) 秋元和實, 滝川 清, 島崎英行, 鳥井真之, 長谷義隆, 松田博貴, 小松俊文, 本座栄一, 田中正和, 大久保功史, 筑紫健一, 松岡数充, 近藤 寛: ガラカブが観た有明海の風景 -環境変化をとらえるための表層堆積物データベース-. pp. 1-24, NPO みらい有明・不知火, 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター出版, 2004.
- 2) 菊池泰二: 干潟浅海系の保全の意義, 佐藤正典 (編), 有明海の生きものたち, 海遊舎, pp. 306-317, 2001.
- 3) 森 敬介: 生息生物の種類と分布. 産官学連携による有明海を再生させる取り組み成果報告会講演要旨集, pp. 28-31, 2008.
- 4) Murray, J.W.: *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*, Cambridge University Press, 2008.
- 5) Akimoto, K. and Tanaka, M.: *Distribution of modern benthic foraminiferal assemblages in the Ariake sea, Kyushu, Japan*, Anuário do Instituto de Geociências, vol. 29, pp. 234-235, 2006.
- 6) 鎌田泰彦: 有明海の海底堆積物. 長崎大学教育学部自然科学研究報告, 18号, pp. 71-82, 1967.
- 7) 木下泰正, 有田正史, 小野寺公児, 大嶋和雄, 松本英二, 西村清和, 横田節哉: 61-2 有明海および周辺海域の堆積物. 通商産業省工業技術院公害特別研究報告書, pp. 29-67, 1980.
- 8) 滝川清, 秋元和實, 平城兼寿, 田中正和, 西村啓介, 島崎英行, 渡辺枢: 有明海熊本沖の水塊構造と表層堆積物分布特性, 海岸工学論文集, 第 53 卷, pp. 956-960, 2005.
- 9) 亀丸文秀, 藤田和彦, 秋元和實, 長谷川四郎: 第 II 部各論, II-1 微化石, 4. 動物, 4-1. 有孔虫, 現生底生有孔虫, 化石研究会 (編), 化石の研究法, pp. 67-69, 共立出版, 2000.
- 10) Buzas, M.A. and Gibson, T.G.: *Species diversity ; benthic foraminifera in western North Atlantic*, Science, 163, pp. 72-75, 1969.
- 11) 石崎国熙: 5. データの処理, 高柳洋吉 (編), 微化石研究マニュアル, pp. 129-140, 朝倉書店, 1978.
- 12) Akimoto, K., Matsui, C., Shimokawa, A. and Furukawa, K.: *Atlas of Holocene benthic foraminifers of Shimabara Bay, Kyushu, Southwest Japan*, The Kagoshima University Museum, Monographs, no.2, pp. 1-112, 2002.
- 13) 秋元和實, 滝川清, 西村啓介, 平城兼寿, 鳥井真之, 園田吉弘: 有明海白川沖における過去 60 年間の環境変遷の特性. 海岸工学論文集, 第 53 卷, pp. 941-945, 2006.
- 14) 熊本開発研究センター: 熊本港周辺海域干潟生物調査, 熊本県, 1978-1998.
- 15) 秋元和實, 七山太, 安間恵, 滝川清: 音響および底質特性に基づく熊本市沖有明海の世界環境の解析, 海洋開発論文集, 第 24 卷, pp. 639-644, 2008.