

(15) 自然水域の自浄作用——玄界灘底質微生物のグルタミン酸取込分解活性のシミュレーション解析

SIMULATION ANALYSIS OF SEDIMENT MICRO ORGANISM'S ACTIVITY UPTAKING AND DISSOLVING GLUTAMATE IN THE SEA OF GENKAI

近藤満雄*

MITSUO KONDO*

ABSTRACT; Sand particles of diameter under 0.25 mm greatly moved in the sea bottom. Sediment microorganism's membrane was mainly made on the surface of sand particles of diameter over 1 mm. Sand particles of diameter under 0.25mm mainly contributed to the total surface area of sediment particles. The water content of sediment absorbed water by old newspapers was equivalent to the mean surface area of sediment particles. Free microorganism in the opening water of sediment little contributed to the total microorganism's activity. Using particle size distribution of sediment, the quantity of microorganism's membrane was calculated, environmental factor was added, and the quantity of microorganism being equivalent to the activity was reformed with them. The better was the water environment in sea, the higher was the sediment microorganism's activity. The higher the water environmental quality in the sea area was, the more was sediment microorganism proper to the clean sea. In the other hand, the worse was the water environmental quality in the polluted sea area, the higher was the sediment microorganism's activity. The worse was the water environmental quality, the more was the sediment microorganism proper to the polluted sea.

KEYWORDS; self-purification, micro organism's activity, glutamate, sediment micro organisms, marine environment

1. 序 論

海等の自然水域では、様々な微生物が、河川を通じて或いは降雨時に沿岸の町や村から直接流入する様々な有機物や栄養塩を分解したり、酸化または還元し、浄化している。しかし開発や産業活動等の人間活動が高まり、その上人口が増加するとともに、流入する生活排水や工業排水や農業排水や細泥が増大し、自然水域に大きな打撃を与え、自浄作用自身をも変えるようになった。1990年玄界灘で底質を5回採取し、底質微生物の有機物（グルコース、サッカロース、デンプン、グルタミン酸）の取込分解活性を測定した。底質の粒度分析データから底質粒子表面の微生物膜量をシミュレートし、これに間隙水中の浮遊微生物量を加え、更に水環境質要因を微生物量に反映させることによって、調査域での測定した活性値分布にほぼ一致する、微生物分布を得ることができた。ここでは紙面の制約のため、グルタミン酸取込分解活性について、8月21日のデータを中心に、一部9月10日のデータを加え、報告する。

*九州産業大学工学部土木工学科 Civil Engineering, Kyushu Sangyo University

2. 方 法

2. 1 活性値の定義

乾燥底質 1 g に生息する底質微生物が 1 時間に取込んだり分解する有機物の総量を活性値と定義する。

2. 2 底質採取法と取込分解活性測定法

Fig.1に示す30地点で、調査船上からスミスマッキンタイヤ採泥器を用いて海底の底質を採取し、これから表層約5cmの厚さの底質を取り、これを4mmのフルイで篩い、通過したものを微生物による有機物の取込分解活性の測定や粒度分析に用いた。この底質を数枚重ねた新聞紙の上に広げ、水分をできるだけ取り、一様に混合したものを使用する。各採取地点毎、測定項目毎に、2個の100mlビーカーに底質を20gずつ量り取る。一方を対照検体とし、他方を活性測定検体とする。対照検体には反応停止液である5%フェノール溶液を1ml加え、よく攪拌混合し、約10分後に、1500 $\mu\text{g/ml}$ のグルタミン酸ナトリウム溶液を5ml加え、直ちに50mlの純水を加え、よく攪拌混合後、濾過し、濾液のグルタミン酸濃度をニンヒドリン法で測定する。一方活性測定検体には、対照検体に加えたものと同じ濃度、同じ容量のグルタミン酸ナトリウム溶液を加え、20℃で4時間インキュベートし、取込と分解を行わせ、その後反応停止液を1ml加え、よく攪拌混合後濾過し、濾液のグルタミン酸濃度を測定する。底質20g中の含水量と、活性測定検体のインキュベート時の蒸発水分量を測定し、対照検体とインキュベート後の活性測定検体の物質量を正確に求める。両者の差を取込分解活性とする。

2. 3 底質粒子の表面積

底質を150℃で24時間乾燥させ、約300gの底質を取り、2, 1, 0.5, 0.25, 0.125mmの孔径のフルイにかけ、各フルイに残留した底質と、0.125mmのフルイを通過した底質の重量を測定し、その後これらの比重を比重ビンで測定する。ここで底質粒子を球形と仮定し、各篩い分け区間で底質粒子の半径に対する分布密度が一樣であると仮定する。顕微鏡観察に基づき、最小粒子の直径を0.1mmとして、底質粒子の半径を0.01mm刻みに表面積を計算し、この総和をとり、これを底質質量で割り、乾燥底質1g当りの底質粒子平均表面積を計算する。乾燥底質1g当りの底質粒子平均表面積は次の仮定に基づき算出した。1) . 底質粒子の形状は球形である。2) . 一つの篩い分け区間内では、底質粒子の密度は同一である。3) . 一つの篩い分け区間では、粒子数の分布密度が粒子半径に依らず一定である。4) . 底質粒子の最小直径は0.1mmである。

2. 4 生物膜表面積の算出

採取した底質を 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125mm の孔径のフルイにかけ、各フルイに残留した底質と、0.125mmのフルイを通過した底質の指標値を測定し、1mmのフルイに残留した底質の指標値を1とした時の各フルイに残留した底質と0.125mmのフルイを通過した底質の指標値の比（これを重み係数と名付ける）を求める。各篩い分け区間毎の表面積に重み係数を掛け全篩い分け区間の表面積を求める。この時重み係数をすべて1とすれば底質粒子表面積が求まり、各篩い分け区間毎の微生物活性の測定から求めた重み係数を用いると実際の微生物膜量（面積）が求まる。

2. 5 活性値等の三次元グラフィックス画像

パーソナルコンピュータを用いて、活性値等をZ軸に取り、調査域について、補間計算を行ない、コンピュータグラフィックスで三次元表示を行なう。三次元グラフィックスでは精度は問題にならないので、補間計算は全て一次補間法で行なう。図を出来るだけ大きくするように、X, Y, Zの三軸間の角度をそれぞれ120度にする。Z軸には100ドット割当て。変化量を見やすくするため、データの最小値に0ドットを、最大値に100ドットを割当て。Fig.1の測定値の無い空格子点の値を、測定値のある周辺の格子点の値から一次内挿法で求め、次に隣接する格子点間を4等分して、補間計算した。

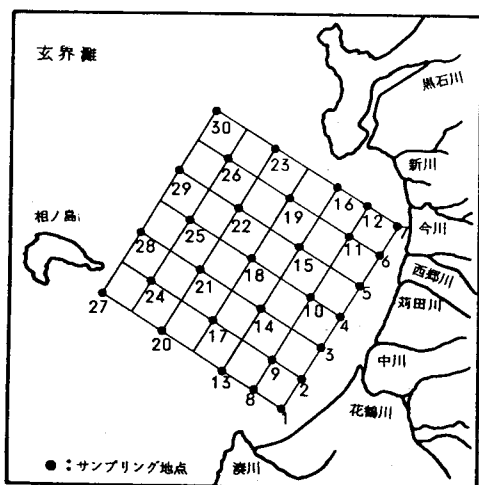


Fig.1 玄界灘底質採取地点

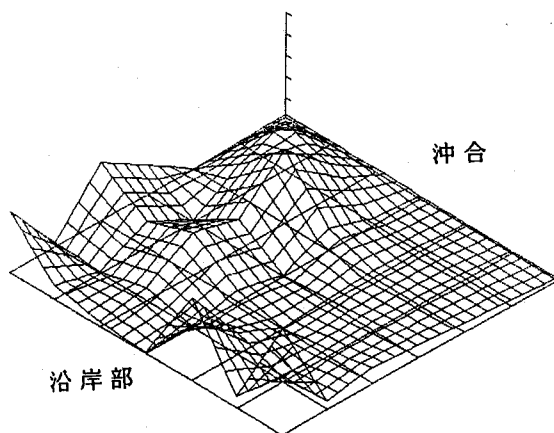


Fig.2 粒径0.25mm未満の粒子の表面積分布

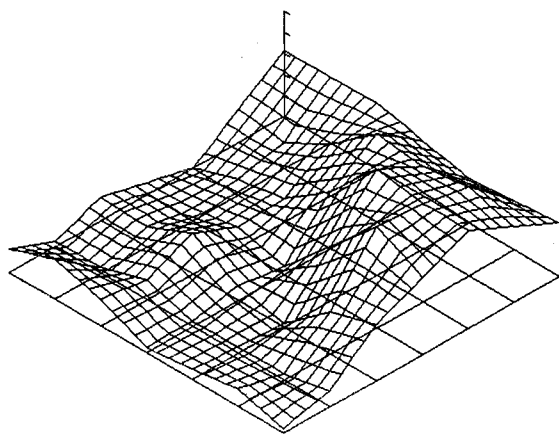


Fig.3 粒径0.5-0.25mmの粒子の表面積分布

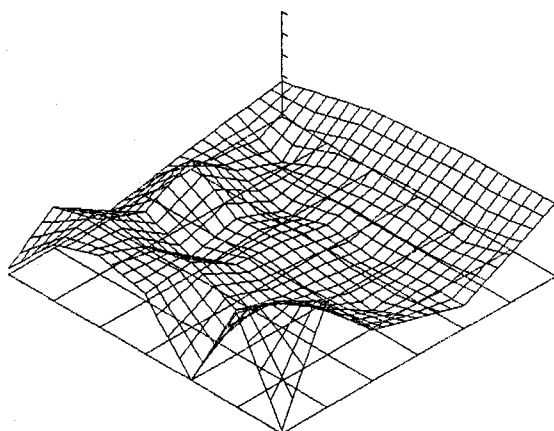


Fig.4 粒径1-0.5mmの粒子の表面積分布

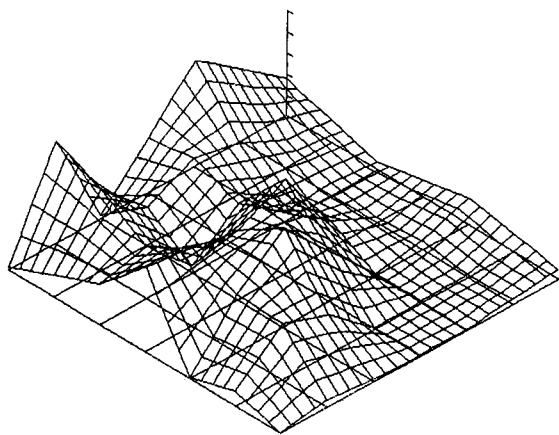


Fig.5 粒径2-1mmの粒子の表面積分布

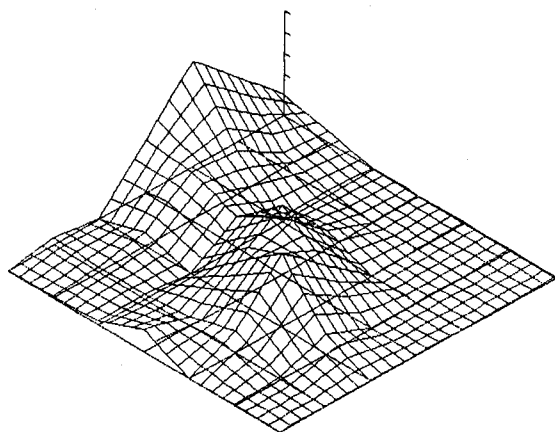


Fig.6 粒径4-2mmの粒子の表面積分布

3. 結果と検討

3.1 粒径による底質粒子の表面積分布

粒径0.25mm未満の微小砂の多いのはSt.24附近の水深の最も大きい所と、湊川や西郷川の河口近くや、津屋崎港口近くの地点である (Fig.2)。粒径0.5-0.25mmの砂が多いのはSt.16,19,22,25,28を結ぶ直線から沖合の地点である (Fig.3)。粒径1-0.5mmの砂が多いのは河口近くのSt.2,3,4,6,12と最も沖合のSt.28,29,30地点附近である (Fig.4)。粒径2-1mmの砂が多いのはSt.2,3,11,15,18,20地点附近である (Fig.5)。粒径4-2mmの砂が多いのはSt.15,17,18,20の地点である (Fig.6)。河口附近の沿岸部は細砂、中砂、粗砂ともに多いことがわかる。一方調査地点沖合にはあるのは中砂だけである。St.20附近では相の島から粗砂が供給されていることが分る。

3.2 底質粒子平均表面積に寄与する粒子

底質粒子平均表面積に最も大きな寄与をするのは粒径0.25-0.125mmの底質砂である。次に寄与の大きいのは粒径0.125mm未満の微細砂である。これは表面積への寄与が最大であるにも拘わらず調査域に粒径0.125mm未満の微細砂が存在する割合が小さいためである。三番目に寄与の大きいのは粒径0.5-0.25mmの底質砂である。粒径0.5mm以上の底質砂は底質粒子平均表面積に余り大きな寄与をしない。Fig.2とFig.7を比べると分るように底質粒子平均表面積へ大きな寄与をするのは粒径0.25mm未満の微細砂である。

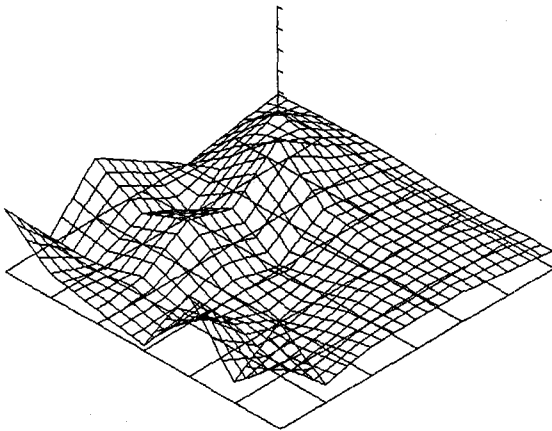


Fig.7 底質粒子の平均表面積

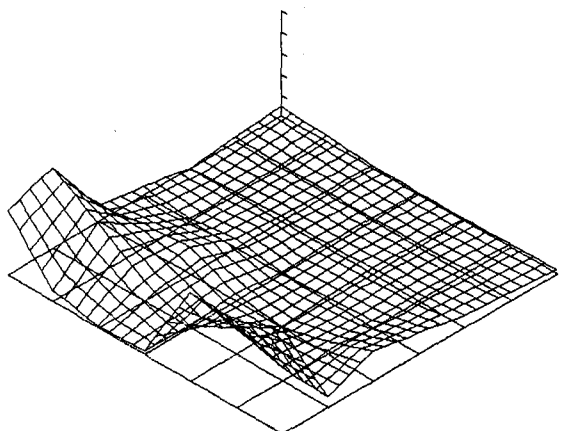


Fig.8 粒径0.25mm未満の粒子の表面積分布
(9月10日)

3.3 砂の移動

三次元グラフィックスで見た粒径4-1mmの粗砂の分布は調査期間内では極く僅かしか変化しない。粒径1-0.25mmの中砂の分布も僅かに変化するだけである。Fig.2とFig.8を比べると粒径0.25mm未満の微細砂の分布は調査毎に激しく変化し、移動が激しいことが分る。

3.4 活性値に寄与する粒子

活性値に最も大きな寄与をするのは粒径2-1mmの底質砂である。次に寄与の大きいのは粒径4-2mmの底質砂である。これはこの粒径の砂の生物膜形成率が最も高いにもかかわらず砂が存在する割合が非常に小さいからである。三番目に寄与するのは粒径1-0.5mmの底質砂である。粒径0.5mm未満の細砂は活性値に余り大きな寄与をしない。Fig.9とFig.10を比べると分るように活性値は粒径1mm以上の底質粒子表面積の総和にかなり良く対応している。このことから粒径1mm以上の底質粒子には微生物膜が良く形成するが、粒径0.5mm以下の底質粒子表面には微生物膜が形成しにくいことが分る。

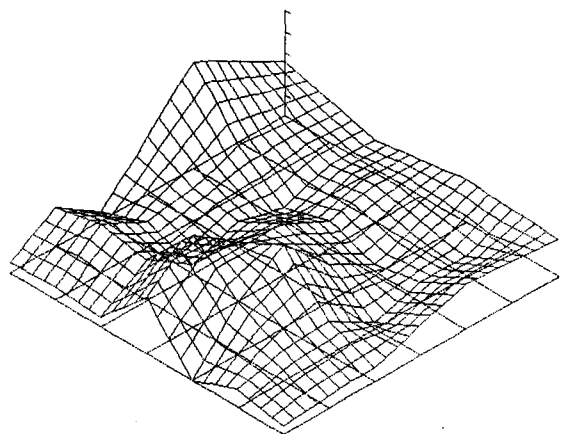


Fig.9 活性値分布

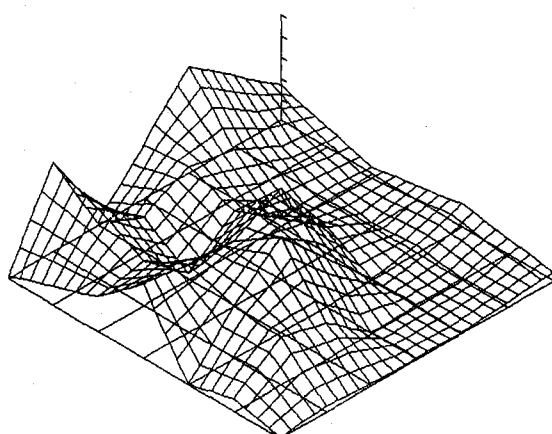


Fig.10 粒径1mm以上の粒子の表面積分布

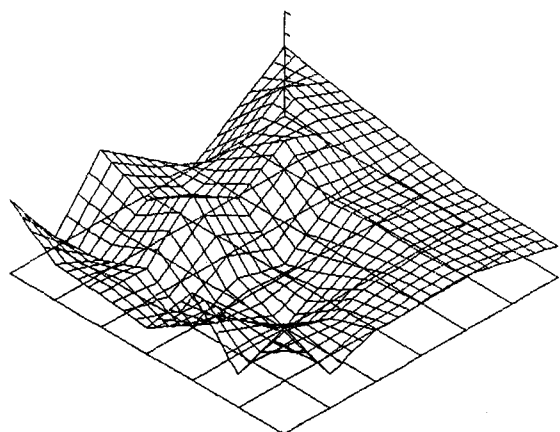


Fig.11 含水量分布

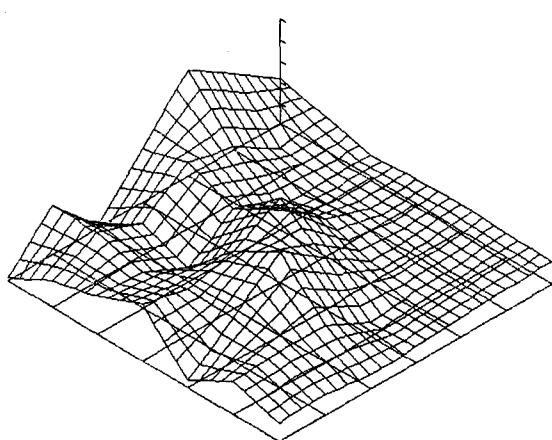


Fig.12 微生物量分布

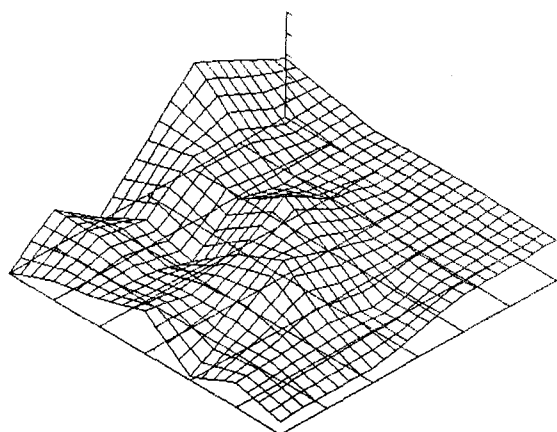


Fig.13 環境因子付加微生物量分布

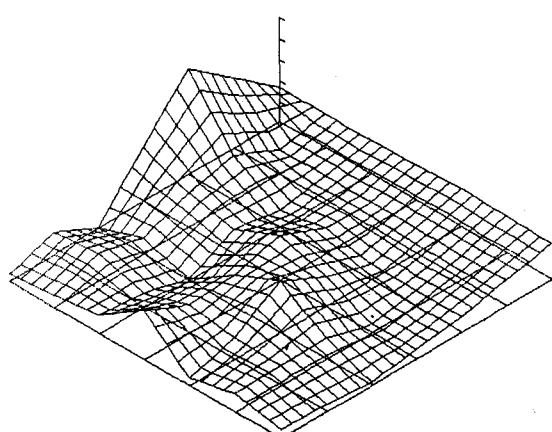


Fig.14 環境因子付加理論微生物量分布

3. 5 底質粒子平均表面積と含水量との対応

Fig.7 とFig.11を比較すれば分るように、測定時に余分の水を古新聞紙に吸収させて取除いた底質1g（乾燥、非乾燥共）当りの含水量分布は底質粒子平均表面積分布と良く対応している。これは含まれる水が底質砂中の表面の吸着水として存在することを意味している。

3. 6 微生物量シミュレーション

幾つかの代表的な地点で、採泥器で大量に採取した底質砂を篩い分けて、粒径毎に指標値を測定する。そして粒径2-1mmの指標値を1として、粒径毎の重み係数を計算する。実験的に決めた重み係数は、底質に海水をかけながら篩い分けるためアーチファクトが入り正確さを欠くと考えられるので、粒径毎に粒径の小さい方から少しずつこの重み係数を変えて、30地点の粒度分析データから、微生物膜面積を計算し、微生物量の三次元グラフィックス画像を描き、活性値の三次元グラフィックス画像に出来るだけ合うように、最適な重み係数を決定する。この重み係数を用いて、微生物膜面積を計算する。微生物量分布をFig.12に示す。Fig.10とFig.12を比べると分るように微生物量分布は粒径1mm以上の底質粒子の総表面積分布に非常に良く似ている。このことから微生物膜が形成されるのは主として粒径1mm以上の粒子表面に限られ、粒径0.5mm以下の粒子表面には微生物膜が形成しにくく、開発等で細泥が大量に流入すると微生物膜の形成が阻害され、底質微生物の自浄作用が低下することが分る。

3. 7 多重回帰分析

30地点の粒度分析データを用いて、粒度毎の表面積に重み係数を掛けたものが活性値に一致するように、すなわち粒度毎の重み係数を説明変数とし、活性値を目的変数として、多重回帰分析して、篩い分けた砂粒子の粒径毎の重み係数を計算する。多重回帰分析から求めた重み係数を用いて、微生物膜量を計算し、三次元グラフィックス画像を描いたところ、活性値との対応はシミュレーションで求めた結果より悪かった。これはこのような広範な調査域では、環境質の差を表す要因が重み係数に反映しない可能性があること、沿岸部や沖合部や中間部では重み係数が異なる可能性があること、学生達の測定技術が未熟で、データに不正確さがあること等が原因と思われる。

3. 8 水環境質の影響

シミュレーション結果から間隙水中に含まれる浮遊微生物の活性への寄与は極めて小さいことが分った。玄界灘沿岸部の汚濁が進みだした所では、夏季になると汚濁が進んだ所程底質微生物の有機物取込分解活性が大きく（ここでは汚濁微生物群が優勢と思われる）、晩秋から冬になり、外海との海水交換が進み、水質が改善されると、水環境の良い所程微生物活性が高くなり（ここでは海本来の固有微生物群が優勢と思われる）、優勢な微生物群が季節によって交代することが筆者らのこれまでの研究から分っている。今回のデータでも沿岸部では河口に近い海の活性値が高い。特に花鶴川河口沖と西郷川河口沖と湊川河口沖の活性値が高い。これはこれらの河川を通じて生活排水や農業排水や工業排水が流入し、富栄養化しているため、汚濁微生物群が優勢になるためと思われる。しかしながら、沿岸部から離れ、水質の良い、水環境の良くなる沖では、沖合に向う程活性値が高くなっており、特に外海の海水が容易に入替わる沖合いでは、活性値が非常に高く、ここでは海本来の固有の清水性の微生物群が優勢になることが推察される。実測の含水量から間隙水中に含まれる微生物量をシミュレートし、(3.6)で求めた底質微生物量に加え、更に上述の環境要因が微生物量に反映させると、Fig.13に示す微生物量分布が得られる。底質の粒度分析データのみを用いて、微生物膜量を計算し、次に実測の含水量を使わず、(3.5)で述べた関係を用いて底質粒子平均表面積から間隙水中の微生物量をシミュレートし、これに加え、更に環境因子を加えて求めた理論的な微生物量分布をFig.14に示す。

4. 謝 辞

底質のサンプリングや底質微生物の活性測定を行なってくれた当研究室の学生諸君に深く感謝する。グルタミン酸取込分解活性の測定を行なってくれた大学院生の田中義幸君に深く感謝する。