

現地海浜の岸沖漂砂量に関する研究

服部 昌太郎*・小 松 登**

1. ま え が き

沿岸および岸沖漂砂は、それぞれ比較的長期間と短期間に生ずる海浜変形に、重要な役割をもつことが従来より指摘されている。しかし、海浜縦断地形は near-shore 帯を中心とする海浜過程に関係する諸現象と大きなかわりを持つことから、長期間にわたる海浜変形を検討する上で、岸沖漂砂の移動機構と海浜地形との関係を解明することは重要である。

二次元海浜地形の形成と入射波や底質などの特性間の関係は、Johnson の研究以来数多くの研究者によって、二次元波動水槽による実験を中心に行われている¹⁾。また、最近では岸沖漂砂の移動方向と海浜地形^{2),3)}、漂砂量モデル^{4),5),6)}、また海底微地形と岸沖漂砂⁷⁾などの非常に多彩な研究の成果が報告されている。

二次元波動水槽による実験結果を現地海浜に適用する場合、移動床実験の相似則と縮尺効果など、数多くの未解決の事柄の影響を考慮する必要がある。一方、現地海浜では海象条件の非定常性や沿岸諸現象の三次元性のため、二次元波動水槽内に出現するような二次元的の高い条件下での岸沖漂砂観測を行うことは、きわめて困難である。しかし、現地海浜での観測結果と室内実験結果との比較検討は、岸沖漂砂機構と海浜地形との関係をより深く解明する上で、欠くことの出来ない事である。

本報は、茨城県大洗海岸の防砂突堤を利用して行った現地観測で得られた、二次元的の高い海浜変形と岸沖漂砂量の測定結果を報告すると共に、二次元波動水槽による実験結果との比較を行ったものである。

2. 現 地 観 測

現地観測は、昭和54年8月29日、大洗海岸の防砂突堤北側の水域(図-1)で行った。本観測で行った測定項目は、① 海浜縦断地形(9時~18時)、② 流速測定(12時~19時)、③ 波浪観測——目視とメモーションカメラによる——(9時~18時、16時6分と16時25分)、④ 底質調査(16時)である。以下にこれらの測定方法

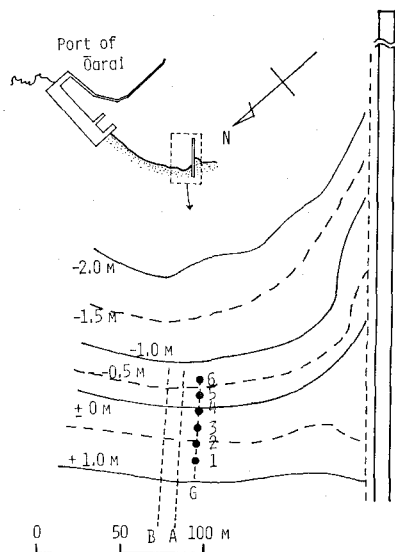


図-1 現地観測地点

を記述する。

(1) 海浜地形の測定

図-1 に示される地点に、ポールアレーによる2測線(AとB)を汀線に直角に設置した。測線間隔は10m、ポールの打設間隔は2mで、測線全長は92mである。ポールアレーは、満潮時の波の打上げ先端より陸側の地点から、干潮時の砕波位置沖側までの区間をカバーしている。本研究では、海浜地形の変化より岸沖方向の漂砂量とその移動方向を推定するため、地形測定は出来るだけ短時間に精度良く行う必要がある。このような理由により、本観測ではポールアレーによる測定方法を採用した。

(2) 流速測定

図-1 のA測線より10m突堤寄りの測線上の6地点(G-1~6)に電磁流速計を設置し、主として砕波帯内の波による流速の測定を行った。電磁流速計は海底面上約20cmに設置され、岸沖および沿岸の流速2成分が同時に測定された(電磁流速計・記録方法などについては、文献8)を参照)。

* 正会員 工博 中央大学教授 理工学部土木工学科

** 正会員 大宮市役所、元中央大学助手 理工学部土木工学科

(3) 観測波浪

観測地点での砕波波高, 周期および砕波位置は, 地形測定時ごとに目視により測定した。また流速計設置地点に打設されたポールを利用し, メモーションカメラによる水位変動計測を行った。

(4) 底質調査

A・B 2 測線間の中心線上の 9 ヶ地点で, 表層 5 cm 厚の底質を採取して, 粒度分析を行った。

3. 波と流速の観測結果

現地海浜での沿岸諸現象が比較的二次元性の高いものであることが, 本研究を行う上での前提条件である。底質移動の主要因は波と流れであるから, これらの観測結果を先ず報告する。

図-2 は, 観測実施日の大洗港での実測潮位変動 (干潮: 13 時 10 分, 満潮: 19 時 30 分) である。

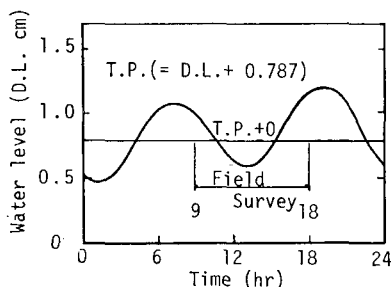


図-2 大洗港の潮位変化

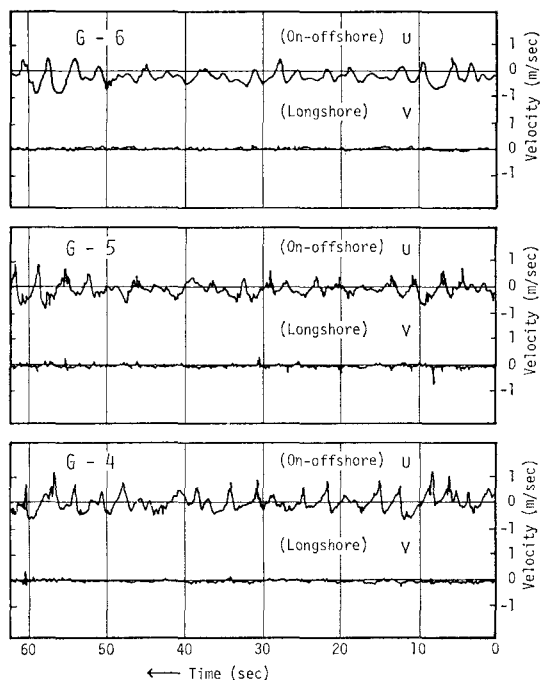


図-3 流速測定記録の例 (15 時 30 分付近)

図-3 は, 流速測定点 G-6~4 (図-1) での岸沖および沿岸方向の流速成分のモニター記録である。この流速記録より以下の事柄が認められる。すなわち,

- (1) 沿岸方向の平均流速 (時間的) と流速変動幅は, ともにきわめて微弱である ($\bar{V}$: 3~8 cm/sec, $\sqrt{\bar{v}^2}$: 4~12 cm/sec)。
- (2) 砕波以前 (G-6) での岸沖方向の流速変動と, 砕波位置付近 (G-5) と砕波後 (G-4) のその変動波形には, 明らかな変化が認められる。波高増大による波群の部分的・全面的砕波によって, 流速波形の振幅 H_u が増大し, 変動波形に高周波成分が増加する。
- (3) 砕波後の沿岸方向流速記録にも, 砕波による乱れに起因すると考えられる変動が認められる。

図-3 に示される流速測定結果の傾向は, 潮位の上昇と共に漸次陸側に移動するが, 沿岸方向の流速成分は観測期間中常に微弱であった。流速測定データは, 32 分毎 640 秒間のデータを使用して統計処理を行った。流速測定データの処理結果より認められた主なる事柄を, 以下に記述する。

- (1) 岸沖方向の流速変動は, 入射波によって誘起されたものである。図-4 は, 砕波の定時目視観測 (20 波) より得た波周期および波高と砕波位置 (水深) より推定される最大水粒子速度 (線形長波理論による) と, 流速測定結果の岸沖方向の 1/3 最大流速と流速変動の平均周期の経時変化を比較したものである。図-4 より, 入射波と流速変動の周期には良好な一致が, また推定流速と測定流速とはほぼ同程度の流速であることが認められる。

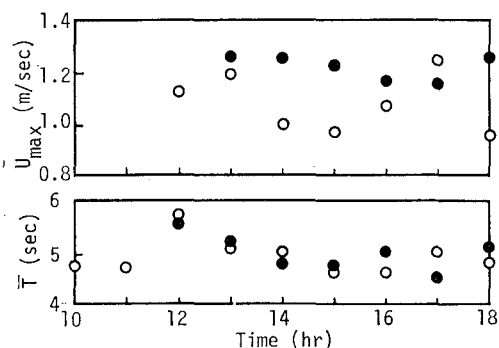


図-4 入射波と流速変動の周期と最大流速の経時変化 (○: 波浪の目視, ●: 流速測定)

- (2) 図-5 は, 岸沖方向の流速波形振幅 H_u の発生度数分布の場所的变化を, 測定時刻別に示したものである (H_u の階級区分は 0.2 m/sec)。砕波以前での H_u の分布は Rayleigh 分布に近い分布形であるが, 砕波位置以浅では双峰分布形となって, 低流速成分が増加している。

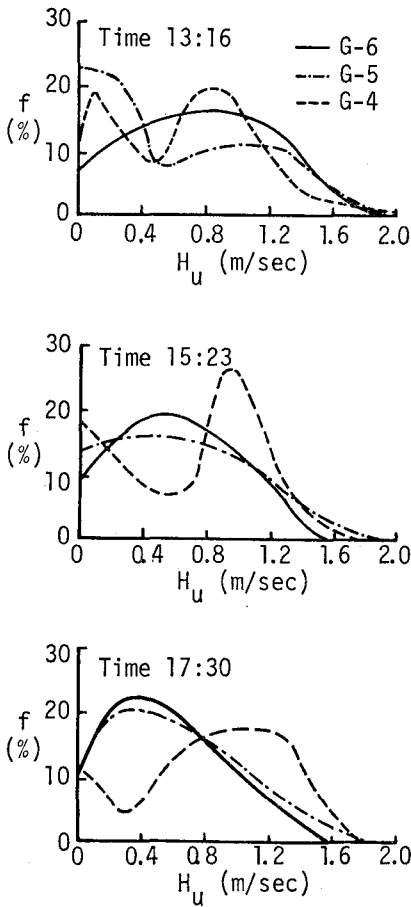


図-5 岸沖流速の発生度数分布

(3) 岸沖流速成分 (1/10, 1/3 最大および平均) の場所的・時間的变化より, 流速は入射波の碎波位置に向って増大し, 碎波発生後は減少することが認められる。

図-6 はメモモーションカメラによる水面変動の記録結果例である。

図-3 の流速変動記録の波形と比較すると, 両者の波形は非常に類似しており, したがって流速変動波形より入射波の碎波位置が推定しうる。

平均および変動流速の沿岸成分が微弱であり, 流速と水位の変動波形が類似していることから, 本観測期間中は入射波は

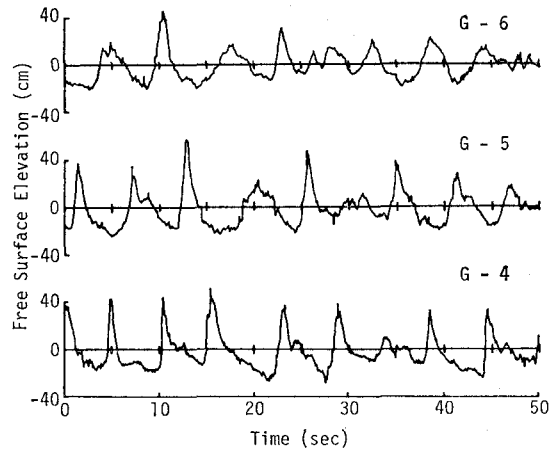


図-6 水面変動記録 (16時25分)

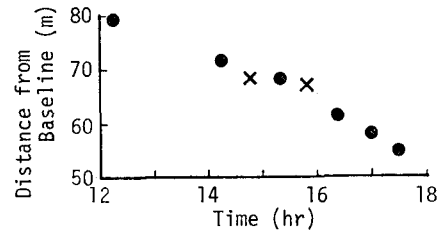


図-7 推定碎波位置の変化 (●: 流速測定結果, ×: 目視観測)

汀線にほぼ直角に入射し, 観測地点での海浜過程は非常に二次元性の高いものであると考えられる。

図-7 は, 流速測定および波浪目視のデータより推定される, 入射波の碎波位置の変化を示したものである。

4. 海浜地形の測定結果

図-8 は, ボールアレー A・B 二測線の 9 時・13 時・

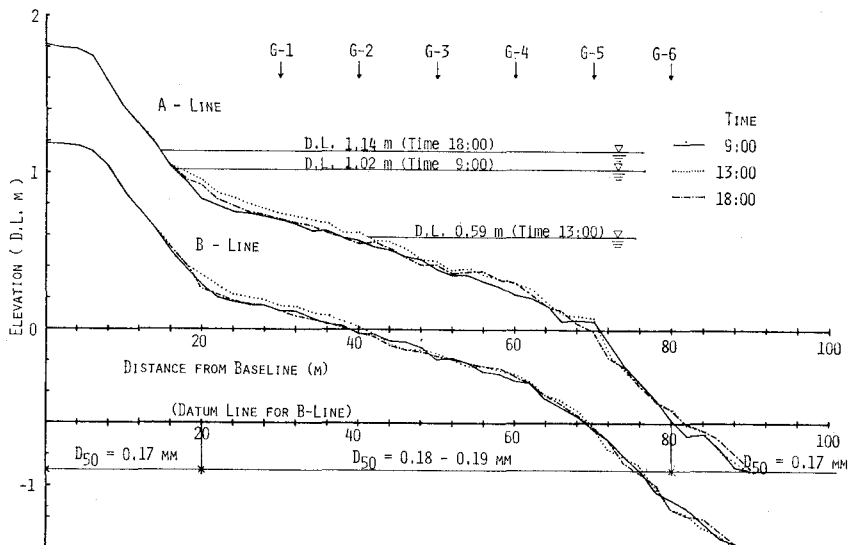


図-8 海浜地形測定結果の例

18時の海浜形状で、観測地点の海浜には干潮時碎波位置付近に step が存在する(内浜勾配 1/80)。前浜(0~20 m 間)での海浜砂の中央粒径は 0.17 mm、碎波帯内(20~80 m)で 0.18~0.19 mm、また干潮時碎波位置沖側(80 m 以遠)で 0.17 mm である。最大粒径は 0.20 mm(碎波帯内)で、比重は 2.57 である。

海浜地形の測定は、9~18時の間1時間ごとに行った。この地形測定結果より、岸沖漂砂量とその方向を推定する。ポールアレー二測線の地形測定の所要時間は、測定者4~6名で約15分であった。図-8の海浜地形に認められるように、地形測定は底質移動の限界水深地点までは行われていないこと、また潮位の上昇による水深増加と碎波とによって、地形の測定精度が低下することなどが認められる(60 m 以遠)。

岸沖漂砂量は底質砂の連続式

$$\partial z / \partial t = 1 / (1 - \lambda) \cdot \partial q_x / \partial x \quad \dots\dots\dots (1)$$

によって、測定海浜地形の変化より計算する。ここに、 x : 陸上基準点より汀線に直角沖向きの座標、 z : 基準レベルより海浜面までの鉛直距離、 q_x : 単位幅・単位時間当りの net の岸沖漂砂量、 λ : 底質砂の空けき率($\lambda=0.4$)、および t : 時間である。

図-9と10は、2時間ごとの地形測定結果を用いて、式(1)より計算された岸沖漂砂量の分布である(1時間毎の地形変化量は小さく、このため測定誤差が漂砂量計

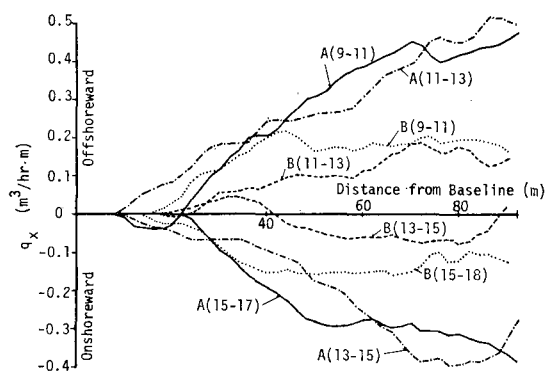


図-9 岸沖漂砂量の分布(2時間平均)(A・Bは測線、括弧内の数字は使用した地形の測定時刻)

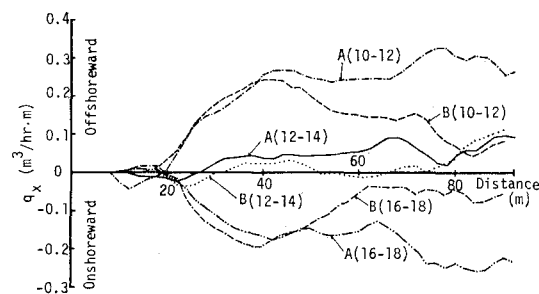


図-10 岸沖漂砂量の分布(2時間平均)

算に大きな影響を及ぼす。地形測定は出来れば 1 cm 以下の誤差範囲で行うことが望ましい)。

岸沖漂砂量の計算結果(図-9と10)より、次の事柄が認められる。

- (1) 漂砂の卓越移動方向と潮位変化との間に、密接な相関関係が認められる。すなわち、引き潮時(9~13時)には沖向き、漲潮時(13~18時)には岸方向となる。
- (2) 干潮時(13時付止)での漂砂量は少なく、卓越方向は沖向きと云える(流速観測結果によると、時間的平均流速は沖向きで、 $\bar{U} \approx 6$ cm/sec であった)。
- (3) 漂砂量は、入射波の碎波位置付近(図-7との比較)で最大となり汀線に向かって減少する傾向と、碎波帯内での漂砂量が比較的一様となる二種類の分布が認められる。しかし、観測データの不足のため、この原因を解明するには到っていない。

潮位変化に対応して漂砂の移動方向が変化することは、別途行った現地観測によっても認められている。

5. 観測結果の検討

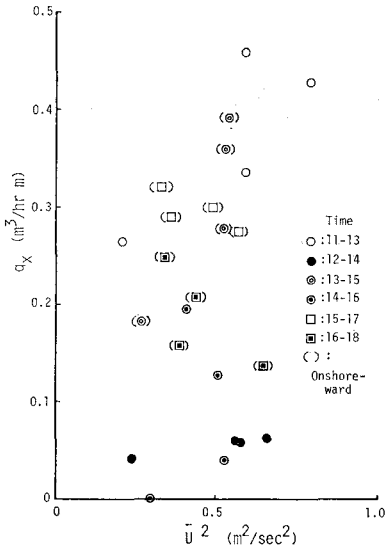
流速と波浪観測結果より、岸沖方向の流速変動は入射波によるものが支配的であり、しかも沿岸方向の流速は小さく、その変動周期数は入射波のそれに比して非常に高い。以上の事から、入射波は汀線にほぼ直角に入射しており、この波と流れによって生ずる海浜過程は二次元性の高いものと考えられる。

岸沖漂砂の卓越移動方向を海浜地形との関連で如何に推定するかが、現在多くの研究者の関心事となっている。本観測結果より、岸沖漂砂は潮位変化と密接な相関があることが判明した。

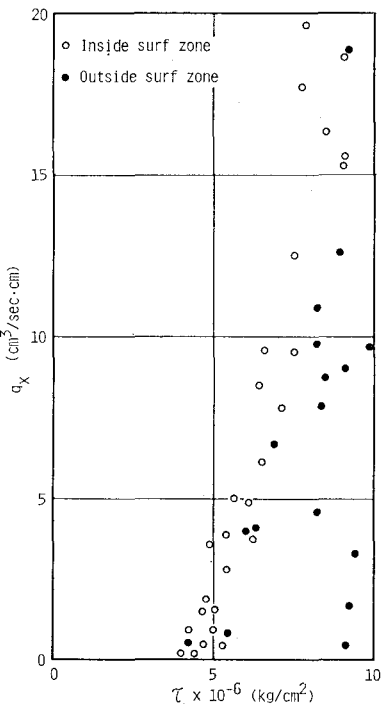
沖波特性が定常である状態を想定すると、漲潮時には平均水位の上昇によって入射波の碎波位置が岸側に移動すると同時に、nearshore 帯での入射波高も増大する。このような平均水位の変動による nearshore 帯内の波浪特性の変化が、漂砂移動の方向を支配する原因の一つと考えられる。また、碎波によって掃流浮遊状態で移動している底質が、潮位変動に伴う流れによって一方向に輸送されることも考えられる。上記の事柄は、今後の研究によって解明すべきものである。

岸沖漂砂量と波などによって生ずる掃流力との関係を検討するため、図-9と10の漂砂量分布と流速測定より得られた平均流速 $\bar{U}$ とを用い、 q_x と $\bar{U}^2$ をプロットしたものが図-11である。実測値のパラッキ——特に干潮時(12~14時)——があるが、漂砂量と掃流力との間には良好な相関が認められる。

図-12は、平均水位一定の条件下で行った二次元波動水槽(0.4 m × 0.7 m × 16 m)による実験結果より、岸



図—11 漂砂量と掃流力 ($\bar{U}^2$) との関係 (実測値)



図—12 漂砂量と掃流力との関係 (実験値)

沖漂砂量と波による底面でのせん断力 ($\tau = \rho f_w u_m^2 / 2$, ρ : 密度, f_w : Jonsson の摩擦係数, u_m : 水底での最大流速) との関係を示したものである。使用した実験結果は、粒径 0.2 mm と 0.4 mm の砂で形成した勾配 1/20 の海浜上での漂砂移動方向が、全体的に岸または冲向きとなる条件下のものである (海浜地形測定は、碎波帯内より沖側は抵抗式砂面計, swash 帯より陸側は接触式砂面計

で行った)。図—12 によると、碎波帯内外での q_x と τ との関係は異なる。

現地観測の地形測定は碎波帯を中心に行われた。したがって、図—12 の碎波帯内の実験結果と図—11 の実測結果とより、漂砂量と掃送力との間に次の関係をうる。

$$q_x \sim (\bar{U} - \bar{U}_0)^{2.5-3} : \text{実測値}$$

$$q_x \sim (\tau - \tau_0)^{2.5-3.5} : \text{実験値}$$

ここに、 $\bar{U}_0$ は底質移動の限界流速, τ_0 は限界掃流力である (Madsen ら⁴⁾ の図より計算される $d=0.2$ と 0.4 mm の砂の τ_0 は、それぞれ 1.0×10^{-6} kg/cm² と 2.5×10^{-6} kg/cm², また $d=0.18$ mm の砂の U_0 を逆算すると 0.14 m/sec 程度となる)。

6. 結 論

二次元性の非常に高い海浜変形の現地観測を、幸運にも行うことが出来た。海浜地形の変化より計算される岸沖漂砂量の分布は、入射波の碎波位置付近で最大となり汀線に向けて減少する傾向と、碎波帯内ではほぼ一様となる傾向とが認められる。また漂砂の移動方向は、潮位変化と密接な相関を有する。

海浜の二次元変形と漂砂量の実験は、平均水位が変化しない条件の下で行われたが、実測と実験とによる漂砂量と掃流力との関係は、非常に類似していることが認められた。

本研究の遂行に当たり、海浜地形測定には堀田新太郎氏 (都立大学)、流速測定には水口優氏 (中央大学) と磯部雅彦氏 (東京大学) のご援助をうけた、ここに記して謝意を表します。また本研究の一部は、文部省科学研究費 (総合研究 A: 研究代表者堀川清司東大教授および一般研究 C) によって行ったものである。

参 考 文 献

- 1) Iwagaki, Y. and H. Noda: Laboratory study of scale effects in two-dimensional beach processes, Proc. of 8th ICCE, pp. 194~210, 1962.
- 2) 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田 滋: 波による二次元汀線変化に関する一考察, 第 22 回海講論文集, pp. 329~334, 1975.
- 3) 服部昌太郎・川又良一: 碎波帯内の海浜過程, 第 25 回海講論文集, pp. 218~222, 1978.
- 4) Madsen, O. S. and W. D. Grant: Sediment transport in the coastal environment, R76-7, M.I.T., 1976.
- 5) 榎木 享・出口一郎・岡田 学: 二次元海浜の碎波帯における漂砂移動について, 第 26 回海講論文集, pp. 167~171, 1979.
- 6) 渡辺 晃・利穂吉彦・堀川清司: 二次元海浜変形と岸沖漂砂量分布, 第 26 回海講論文集, pp. 172~176, 1979.
- 7) 砂村継夫・阪東浩造・堀川清司: 非対称砂れん上での砂移動機構と漂砂量に関する実験的研究, 第 25 回海講論文集, pp. 250~254, 1978.
- 8) 堀川清司・堀田新太郎・水口 優・磯部雅彦: 碎波後の波にともなう流速場に関する現地観測, 第 26 回海講論文集, pp. 46~50, 1979.