

砂浜海岸の堆積過程における汀線形状

——メガカスプについて——

武田 一郎*・砂村 継夫**

1. はじめに

暴浪によって砂浜から侵食された砂は浅海域に運搬され、そこに堆積してバー（通常、inner bar であることが多い）を形成する。このバーは波が減衰すると徐々に岸方向に移動し、ついには陸上に乗り上げてバームを形成する¹⁾。このバーの岸方向への移動中に、しばしば汀線の周期的な屈曲が形成される。この地形は多くの研究者²⁻⁸⁾の興味の対象とされてきたが、最近では海浜変形の問題との関連において、工学的関心も高まってきている。しかし、従来の研究の多くは記載、あるいは定性的な説明にとどまっており、特にメガカスプの形成条件に関する定量的な研究はほとんど行なわれていない。そこで本研究では、この問題を現地（茨城県那珂海岸）における連続観察の結果から、波浪特性と海浜を構成する堆積物の粒径との関連において定量的に検討する。

2. メガカスプについて

Short⁹⁾ は、砂浜の堆積過程に形成され、岸方向に移動するバーと対応する汀線の屈曲をメガカスプと呼んだ。堆積過程においては、メガカスプのほかにビーチ・カスプ¹⁰⁾が発達するが、両者の主な形態上の相違点は次の2点である。すなわち、(1) ビーチ・カスプの波長は数メートル（実験室¹¹⁾や湖岸¹²⁾では数～数十センチメートルのものも観察される）から数十メートル（60m 程度までという報告もある¹³⁾）であるが、メガカスプのそれは数十メートルから数百メートルと大きい、(2) ビーチ・カスプの形成されている海浜において、 ± 0 m の等高線（平均海面時の汀線）は直線的であり、カスプはそれよりも高い等高線の屈曲で示されるが、メガカスプは ± 0 m の等高線も屈曲している地形として捉えられる。

砂浜の侵食過程においても、メガカスプと類似した汀線の屈曲が形成されることがある¹⁴⁾。しかし、この地形は、(1) 波長がメガカスプよりもさらに大きい、および(2) 比較的不規則な形態を持つという2つの点で、メガカスプとは異なると考えられる。

数百メートルの波長を持つ汀線の周期的な屈曲は、メガカスプのほかに、shoreline rhythms¹⁵⁾、sand waves¹⁶⁾、giant cusps¹⁷⁾、large cusps¹⁸⁾、大カスプ¹⁹⁾などと呼ばれている。しかし、これらが相互に同じ地形を指しているかどうかは不明であり、用語が統一されていない。さらに、これらの用語は、前述した侵食過程に発達する屈曲汀線に用いられる場合もある。

3. メガカスプの形成条件

太平洋に面する open coast である茨城県勝田市那珂海岸を調査地域として選んだ。那珂海岸は東海村海岸と阿字ヶ浦海岸の間に位置する延長約 5km 砂浜海岸である。この海岸に異なる粒径からなる3つの調査地区を設けた（図-1）。北の方から、N 地区（海浜堆積物の平均粒径、 $D=0.76$ mm）、C 地区（ $D=0.66$ mm）、S 地区（ $D=0.26$ mm）とした。なお、この海岸ではほとんど常に、汀線から 200～300m 離れた場所に outer bar の存在が認められる。

1980 年 8 月から 2 年間、週に 1～2 回の頻度で各調査地区の海浜および極浅海域の地形測量を行なった。波浪データは、調査地域の南約 10km の大洗港沖、水深 21 m に設置されている超音波式波高計による実測データ

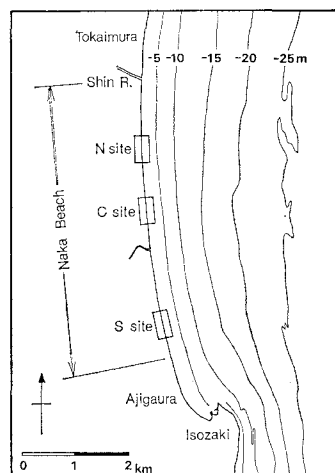


図-1 調査地域

* 正会員 理博 筑波大学研究生 地球科学研究科

** 正会員 工博 筑波大学助教授 地球科学系

(有義波)を用いた。

調査の結果、メガカスプはそれに対応するバー (inner bar) との関連で3つのタイプに大別されることがわかった (図-2)。タイプ I は、汀線に接近した円弧状バー (crescentic bar) の脚部 (岸方向に突出した部分) に対応して、汀線が海側に突出したものである。メガカスプの発生時には脚部と突出部の間に trough が残っているが、バーが岸に近づく両者は接合する。タイプ II は、浅海域に形成された不連続バーが岸方向に移動してきた時に発達するもので、メガカスプの突出部と湾入部が、それぞれバーとそれを分断するリップチャネルに対応する。タイプ III は、直線状のバーが岸方向に移動して汀線に付着した時 (welded bar となった時) に形成され、埋積されつつある小さなリップチャネルに対応して汀線が湾入するものである。

このように、メガカスプはバーの岸方向への移動中に形成されるが、バーの岸方向への移動は底質の岸方向への移動によってもたらされる。一方、メガカスプが消失して汀線が直線状になる時は、バーの破壊あるいは沖方向への移動が観察されるが、これらは底質の沖方向への移動によってもたらされる (ただしタイプ III の場合は、welded bar が陸上に乗り上げてバームとなった場合にも汀線は直線状になる)。そこで、砕波帯における底質の移動方向を規定する次式²⁰⁾を、メガカスプの形成・消失の条件にも適用できると考えた。

$$H_b/gT^2=KD/H_b \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 H_b は砕波波高、 T は波の周期、 D は底質の平均粒径、 g は重力の加速度、 K は定数である。地形変化は連続する2つの調査日に挟まれた期間 (両調査日を含む) [以下、この期間を単に「期間」とよぶ] の最大波浪

に大きく影響されると考えられるため、式 (1) のかわりに次式を用いる。

$$(H_b)_{\max}/gT_{\max}^2=kD/(H_b)_{\max} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $(H_b)_{\max}$ はある一つの「期間」内の日平均砕波波高 (有義波) の最大値、 $T_{\max}$ は $(H_b)_{\max}$ に対応する日平均周期、 k は定数である。なお、砕波波高は、前述した実測データから次式²¹⁾を用いて計算した。

$$H_b/H_0=(\tan \bar{\beta})^{0.2}(H_0/L_0)^{-0.25} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 H_0 は沖波波高、 L_0 は沖波波長、 $\tan \bar{\beta}$ は平均海底勾配 (那珂海岸では、全域を通し、水深 20 m までの平均値が 0.011) である。式 (3) は基本的には実験室²²⁾で得られたものであるが、現地海岸にも適用できることが報告されている²³⁾。

式 (2) 中のパラメータ $(H_b)_{\max}/gT_{\max}^2$ と $D/(H_b)_{\max}$ を用いて、浅海域に円弧状バーが存在するときのメガカスプ (タイプ I) の形成について検討した (図-3)。図-3 において、黒の記号は、波のエネルギーが大きすぎるために、(1) 円弧状バーが存在していたにもかかわらず、一つの「期間」を通して汀線が直線的であった場合、あるいは (2) ある調査日に形成されていた円弧状バーに対応するメガカスプが、次の調査日には消失し汀線が直線的になっていた場合を示す。白ぬきの記号は、(1) ある調査日に汀線が直線状であり、次の調査日にメガカスプが形成されていた場合、あるいは (2) 以前に形成されていたメガカスプが、一つの「期間」を通して維持されていた場合を示す。この図から、浅海域に円弧状バーが存在する場合のメガカスプの形成条件は、図中の直線よりも右下の領域、すなわち次式で与えられる。

$$(H_b)_{\max}/gT_{\max}^2 \leq 24D/(H_b)_{\max} \dots\dots\dots (4)$$

2 次元性の強い直線的なバーの岸方向への移動条件は、武田・砂村²⁴⁾によって次式のように与えられている。

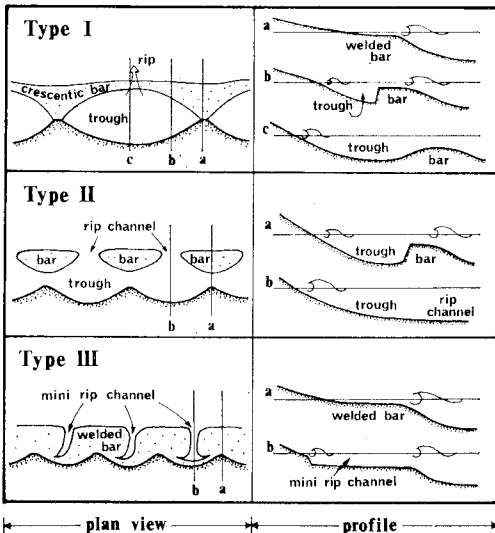


図-2 3つのタイプのメガカスプを示す模式図

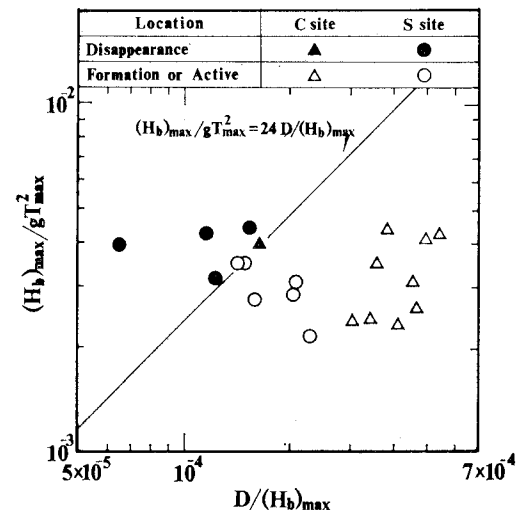


図-3 タイプ I のメガカスプの形成条件

$$5D/(H_b)_{\max} \leq (H_b)_{\max}/gT_{\max}^2 \leq 20D/(H_b)_{\max} \quad \dots\dots\dots (5)$$

この式で、直線的なバーが岸方向へ移動するための条件(上限)として $k \leq 20$ が与えられる。一方、メガカスプの形成条件は式(4)から $k \leq 24$ であることがわかる。これは、直線的なバーが破壊されるか、あるいは沖方向へ移動する波浪状況下 ($20 \leq k \leq 24$) においても、円弧状バーは岸方向へ移動して、メガカスプが発達することを意味する。

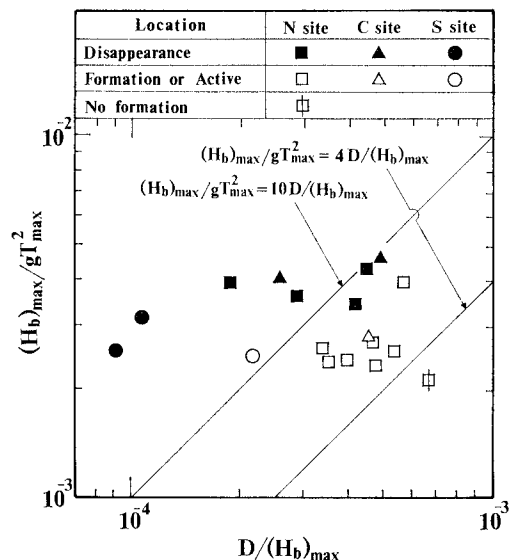
なお、このタイプのメガカスプ形成に関する最小波浪条件は得られなかった。すなわち、浅海域に円弧状バーが存在していたにもかかわらず、波浪エネルギーが小さいためバーが岸方向に移動せず、メガカスプが発達しないような条件については不明である。また、底質粒径が大きい N 地区では、2年の調査期間を通して、円弧状バー、および、それに対応するタイプ I のメガカスプの形成は観察されなかった。

同様の方法で、浅海域の不連続バーに対応して形成されるタイプ II のメガカスプの形成条件を検討した(図—4)。黒の記号と白の記号の持つ意味は前述した通りである。縦棒のついた白ぬきの記号は、浅海域にバーが存在していたにもかかわらず、波のエネルギーが小さすぎたためにメガカスプが形成されなかった場合を示す。この図から、タイプ III のメガカスプの形成条件は次式で与えられることがわかる。

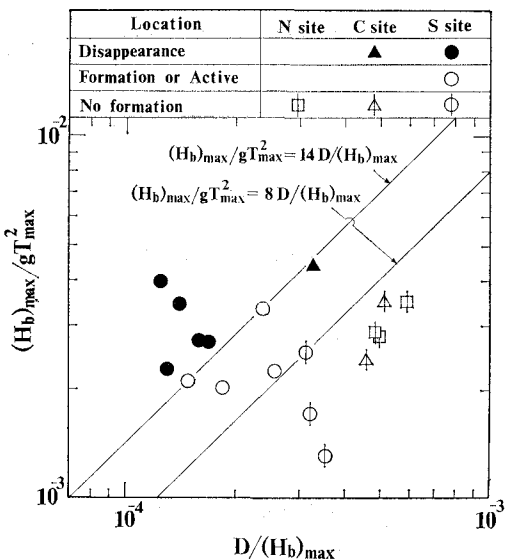
$$4D/(H_b)_{\max} \leq (H_b)_{\max}/gT_{\max}^2 \leq 20D/(H_b)_{\max} \quad \dots\dots\dots (6)$$

この条件は、2次元性の強いバーの岸方向への移動条件(式(5))とほぼ一致する。

さらに同様の方法で、直線状のバーが汀線に付着した



図—4 タイプ II のメガカスプの形成条件



図—5 タイプ III のメガカスプの形成条件

際に観察される、タイプ III のメガカスプの形成条件について検討した(図—5)。すべての記号の持つ意味は前述した通りである。この図から、タイプ III のメガカスプの形成条件は次式で与えられることがわかる。

$$8D/(H_b)_{\max} \leq (H_b)_{\max}/gT_{\max}^2 \leq 14D/(H_b)_{\max} \quad \dots\dots\dots (7)$$

このタイプのメガカスプの形成条件は、3つの中で最も厳しいが、これは、このタイプのメガカスプの維持が困難であることを意味している。

3つのタイプのメガカスプの形成過程を図—6に模式的に示した。タイプ I のメガカスプは、浅海域に形成されたバーが岸方向に移動して円弧状バーとなった際に、式(4)が満足されれば形成される。一方、岸方向に移動してきたバーが深いリップチャネルで分断された場合には、式(6)が満足される時にタイプ II のメガカスプが形成される。タイプ III のメガカスプは、バーが直線状態を保ったまま汀線に付着した時に、式(7)が満足されれば形成される。しかし、浅海域に形成されたバーが、岸方向への移動中に円弧状となるか、分断されるか、あるいはそのまま汀線に付着するかの条件については不明である。

4. メガカスプの波長と湾入度

各調査地区およびその付近に形成されていた数個のメガカスプの波長(図—7)を平均し、表—1に示した。タイプ I のメガカスプの波長は 200~300m 程度であり、3つのタイプのなかで最も大きい。このタイプのメガカスプの波長は、底質粒径の異なる C 地区と S 地区との間で有意な差がない(N 地区では、このタイプのメガカスプは形成されなかった)。また、Hom-ma・Sonu²⁵⁾は、

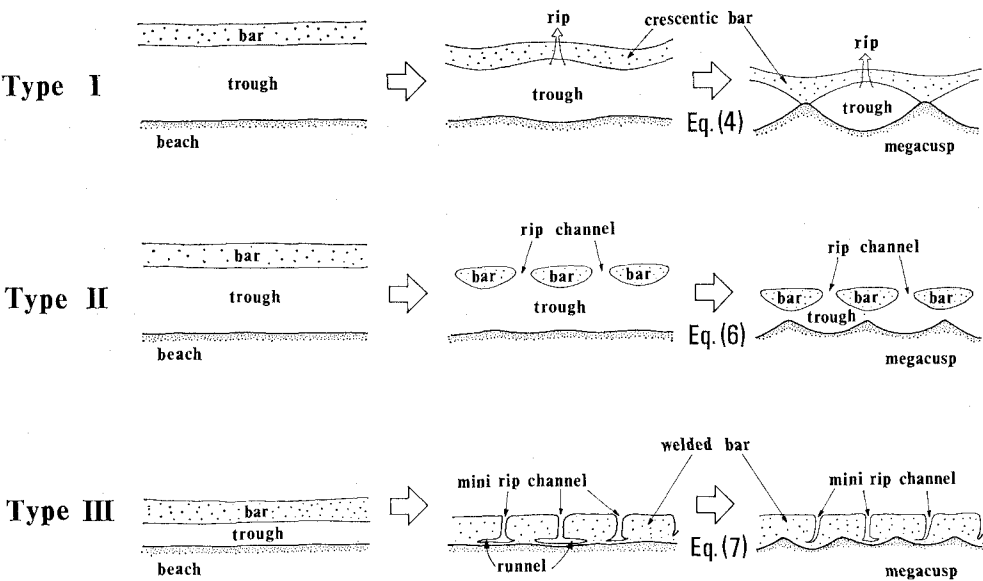


図-6 3つのタイプのメガカスプの形成過程を示す模式図

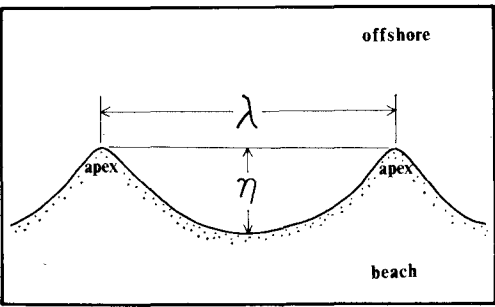


図-7 定義図

新潟海岸 ($D=0.3\text{mm}$ 前後²⁶⁾) に形成されたタイプ I と認められるメガカスプ (Hom-ma・Sonu は shoreline rhythms と呼んでいる) の波長が、やはり 200~300m であったことを報告している。また Sasaki²⁷⁾ によると、茨城県台濁沢海岸 ($D=0.20\text{mm}$) に形成された円弧状バーに対応するメガカスプ (Sasaki は large cusp と呼んでいる) の波長は 150~200m 程度である。これらのことから、タイプ I のメガカスプの波長は、異なる海岸においてもほぼ同じ大きさになることが推察される。

タイプ II、タイプ III のメガカスプの波長は、それぞれ 140~200m, 80~130m 程度であり、各調査地区の間で違いが認められない(表-1)。これらのタイプのメガカスプの波長も、それぞれ場所によって違いのないことが予想される。このように、メガカスプの波長はタイプによって明瞭に異なる。すなわち、タイプ I とタイプ II の境界は約 200m, タイプ II とタイプ III の

境界は 130~140m 付近である。

図-7 に示した η と λ の比、 η/λ をメガカスプの湾入度とし、表-1 に示した。メガカスプの湾入度は各タイプの間で顕著な差が認められないが、良く発達したタイプ I のメガカスプで大きくなることがわかった。

波浪や底質条件との関連で、メガカスプの波長や湾入度を議論するまでには至らなかった。前述したように、メガカスプの形成にはバーの種類・形成位置・岸方向への移動が密接に関係する。したがってこの問題は、バーの性状を考慮して検討されるべきであろう。

表-1 メガカスプの波長と湾入度

メガカスプのタイプ	調査地区	波長 (λ)	湾入度	調査日	備考
I	C ($D=0.66\text{mm}$)	240m	0.075	28 Aug 80	十分に発達
		310	0.029	30 Aug 80	
		214	0.051	2 Sep 80	
		224	0.112	6 Sep 80	
		228	0.110	9 Sep 80	
		280	0.093	12 Sep 80	
		206	0.102	15 Sep 80	
		216	0.079	19 Sep 80	
		208	0.072	22 Sep 80	
		190	0.084	25 Sep 80	
	S ($D=0.26\text{mm}$)	250	0.064	7 Sep 80	十分に発達
		238	0.080	10 Sep 80	
		240	0.121	13 Sep 80	
		224	0.138	16 Sep 80	
		234	0.103	23 Sep 80	
		222	0.117	26 Sep 80	
		272	0.077	11 Apr 81	
		260	0.081	5 Apr 82	
II	N ($D=0.76\text{mm}$)	180	0.083	28 Aug 80	十分に発達
		180	0.067	30 Aug 80	
		173	0.052	2 Sep 80	
		163	0.092	6 Sep 80	
		167	0.078	9 Sep 80	
		200	0.060	22 Sep 80	
		208	0.063	25 Sep 80	
		140	0.071	26 Nov 80	
		156	0.045	18 Oct 80	
		144	0.101	1 Feb 81	
III	C ($D=0.66\text{mm}$)	88	0.063	25 Apr 82	
		83	0.102	28 Jun 81	
	S ($D=0.26\text{mm}$)	123	0.065	14 Jul 81	
		106	0.094	28 Jul 81	
		102	0.093	27 Aug 81	

5. おわりに

現地海岸における連続観測のデータにもとづき、堆積過程に観察されるメガカスプの形成条件について検討した。メガカスプは浅海域のバーとの関連において3つのタイプ(図-2, 6)に区分できることがわかり、それぞれのタイプの形成条件(必要条件)は式(4), (6), (7)として与えられる。

参考文献

- 1) 武田一郎・砂村継夫: 砂浜海岸の堆積過程における地形変化, 第30回海岸工学講演会論文集, pp. 254~258, 1983.
- 2) Homma, M. and C. J. Sonu: Rhythmic pattern of longshore bars related to sediment characteristics, Proc. 8th Conf. Coastal Eng., pp. 248~278, 1962.
- 3) Bowen, A. J. and D. L. Inman: Edge waves and crescentic bars, Jour. Geophys. Res., Vol. 76, pp. 8662~8671, 1971.
- 4) Sonu, C. J.: Three-dimensional beach changes, Jour. Geology, Vol. 81, pp. 42~64, 1973.
- 5) Short, A. D.: Three dimensional beach-stage model, Jour. Geology, Vol. 87, pp. 553~571, 1979.
- 6) Goldsmith, V., D. Bowman, K. Kiley, B. Burdick, Y. Mart and S. Sofer: Morphology and dynamics of crescentic bar systems, Proc. 18th Conf. Coastal Eng., pp. 941~953, 1982.
- 7) 茂木昭夫: 東海村沿岸の地形変化について, 地理評, Vol. 33, pp. 393~411, 1960.
- 8) 茂木昭夫: 海岸及び海底の rhythmic pattern について, 東北地理, Vol. 15, pp. 79~84, 1963.
- 9) 前掲 5).
- 10) 武田一郎・砂村継夫: ビーチ・カスプの発生と波長, 第29回海岸工学講演会論文集, pp. 319~322, 1982.
- 11) Gorycki, M. A.: Sheetflood structure: Mechanism of beach cusp formation and related phenomena, Jour. Geology, Vol. 81, pp. 109~117, 1973.
- 12) Komar, P. D.: Observations of beach cusps at Mono Lake, California, Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 84, pp. 3593~3600, 1973.
- 13) Russell, R. J. and W. G. McIntire: Beach cusps, Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 76, pp. 307~320, 1965.
- 14) Komar, P. D.: The erosion of Siletz Spit, Oregon, in P. D. Komar, ed., Handbook of Coastal Processes and Erosion, CRC Press, Florida, pp. 65~76, 1983.
- 15) 前掲 2).
- 16) Dolan, R., L. Vincent and B. Hayden: Crescentic coastal landforms, Zeitschr. Geomorph., Vol. 18, pp. 1~12, 1974.
- 17) Komar, P. D.: Nearshore cell circulation and the formation of giant cusps, Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 82, pp. 2643~2650, 1971.
- 18) Sasaki, T.: Three-dimensional topographic changes on the foreshore zone of sandy beaches, Sci. Rep. Inst. Geoscience, Univ. Tsukuba, Sec. A, Vol. 4, pp. 69~95, 1983.
- 19) 佐々木 巽: 砂浜海岸の前浜帯における地形変化——茨城県鹿島海岸の場合——, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 253~256, 1979.
- 20) 砂村継夫: Swash zone を含む碎波帯の岸沖砂量に関する研究, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 316~320, 1984.
- 21) Sunamura, T.: Determination of breaker height and depth in the field, Ann. Rep., Inst. Geoscience, Univ. Tsukuba, No. 8, pp. 53~54, 1982.
- 22) Sunamura, T. and K. Horikawa: Two-dimensional beach transformation due to waves, Proc. 14th Conf. Coastal Eng., pp. 920~938, 1974.
- 23) 前掲 21).
- 24) 前掲 1).
- 25) 前掲 2).
- 26) 三野与吉・町田 貞・荒巻 孚・山内秀夫: 新潟海岸の海浜堆積物からみた沿岸流の卓越方向について, 東京教育大学地理学研究報告 VII, pp. 1~22, 1963.
- 27) 前掲 18).