
Tome 33

Novembre 1995

Numéro 4

La mer

う み

1995年11月

日 仏 海 洋 学 会

La Société franco-japonaise
d'océanographie
Tokyo, Japon

SOCIÉTÉ FRANCO-JAPONAISE D'Océanographie

Comité de Rédaction

(de l'exercice des années de 1994 et 1995)

Directeur et rédacteur: Y. YAMAGUCHI

Comité de lecture: S. AOKI, M. HANZAWA, M. HORIKOSHI, M. MATSUYAMA, M. MAEDA, M. OCHIAI, T. YANAGI, S. WATANABE

Rédacteurs étrangers: H.J. CECCALDI (France), E.D. GOLDBERG (Etats-Unis), T. ICHIYE (Etats-Unis), T.R. PARSONS (Canada)

Services de rédaction et d'édition: M. OCHIAI, H. SATOH

Note pour la présentation des manuscrits

La mer, organe de la Société franco-japonaise d'océanographie, publie des articles et notes originaux, des articles de synthèse, des analyses d'ouvrages et des informations intéressant les membres de la société. Les sujets traités doivent avoir un rapport direct avec l'océanographie générale, ainsi qu'avec les sciences halieutiques.

Les manuscrits doivent être présentés avec un double, et dactylographiés, en *double interligne*, et au recto exclusivement, sur du papier blanc de format A4 (21×29,7 cm). Les tableaux et les légendes des figures seront regroupés respectivement sur des feuilles séparées à la fin du manuscrit.

Le manuscrit devra être présenté sous la forme suivante:

1° Il sera écrit en japonais, français ou anglais. Dans le cadre des articles originaux, il comprendra toujours le résumé en anglais ou français de *200 mots* environs. Pour les textes en langues européennes, il faudra joindre en plus le résumé en japonais de *500 lettres* environs. Si le manuscrit est envoyé par un non-japonophone, le comité sera responsable de la rédaction de ce résumé.

2° La présentation des articles devra être la même que dans les numéros récents; le nom de l'auteur précédé du prénom *en entier*, en minuscules; les symboles et abréviations standards autorisés par le comité; les citations bibliographiques seront faites selon le mode de publication: article dans une revue, partie d'un livre, livre entier, etc.

3° Les figures ou dessins originaux devront être parfaitement nettes en vue de la réduction nécessaire. La réduction sera faite dans le format 14,5×20,0 cm.

La première épreuve seule sera envoyée à l'auteur pour la correction.

Les membres de la Société peuvent publier 7 pages imprimées sans frais d'impression dans la mesure à leur manuscrit qui ne demande pas de frais d'impression excessifs (pour des photos couleurs, par exemple). Dans les autres cas, y compris la présentation d'un non-membre, tous les frais seront à la charge de l'auteur.

Cinquante tirés-à-part peuvent être fournis par article aux auteurs à titre gratuit. On peut en fournir aussi un plus grand nombre sur demande, par 50 exemplaires.

Les manuscrits devront être adressés directement au directeur de publication de la Société: Y. YAMAGUCHI, Université des Pêches de Tokyo, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo, 108 Japon; ou bien au rédacteur étranger le plus proche: H. J. CECCALDI, EPHE, Station marine d'Endoume, rue Batterie-des-Lions, 13007 Marseille, France; E. D. GOLDBERG, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California 92093, Etats-Unis; T. ICHIYE, Department of Oceanography, Texas A & M University, College Station, Texas 77843, Etats-Unis; ou T. R. PARSONS, Department of Oceanography, University of British Columbia, Vancouver, B. C. V6T 1W5, Canada.

Theoretical analysis on new mechanism of purse seine net hauling vertical drum *

Cao GUANGBIN** and Sadami YADA***

Abstract: In order to improve the feature of net hauling implements, this study seeks after the engineering feasibility of utilizing a new mechanism of vertically moving belt type of net hauling drum in purse seine fishing operation, it is concluded as following.

- 1) Based on the construction of this new mechanism drum, the friction force to haul net can be greatly increased by increasing angle of contact.
- 2) As long as the motion of net on the drum, which is made up of vertical moving belts, conform to motion condition equation, it is possible for the drum to make net move in a space spiral and spoil for 3 or 4 turns on the drum.
- 3) By comparing the tension of the new mechanism with present used implements, the new mechanism is more reasonable and more effective in improving the feature of net hauling implements.

1. Introduction

In purse seine fishing operation, net hauling is one of the most severe labour. In order to save labour, many kinds of net hauling implements have been invented and much more researches have been done (SAHRHAGE, 1992), such as powered block, net hauler and side roller. The powered block is mainly used in bigger vessel fishing operation, the side roller and the net hauler are used in vessel or boat scales. With the development of purse seine fishing. The pull force of hauling net gets larger and larger, the speed of hauling net gets faster and faster. Because the mechanism of present used net hauling implements is that net is wound on the round body for only a little of contact angle, the friction force is limited, sometimes it is not large enough for single set of implements to haul the net (KRISTJONSSON, 1971). To meet the

need of fishing operation, some auxiliary equipment is necessarily installed. Net hauler and side roller need autotension-press roller, powered block must be high suspended from the deck with derrick (KANEKO, 1988), or more than one kind of implements is used in same time (MATUBAYASHI, 1992). This not only increases the complex of implements, but also causes some other troubles, such as the decrease of stability, the net damage and the miscooperation among implements.

This study is to pursue a new mechanism of purse seine net hauling implements which can overcome the shortcomings of present used implements and can be suited for the development of purse seine fishing. Based on the designed experimental model of net hauling vertical drum, the structure and performance of new drum are theoretically analyzed as following.

2. The operation principle of new mechanism net hauling drum

At present, the tendency of purse seine fishing in the world is toward to single vessel operation from group vessel operation. To adapt to the change, the features of purse seine net hauling implements must be improved to meet the need of fishing operation in pull force,

* Received: September 11, 1995

** Laboratory of Fishing Technology and Engineering, Tokyo Univ. Fish., Konan 4-5-7, Minatoku, Tokyo, 108 Japan.

Heilongjiang Institute, Fisheries Science Research Academy of China, 43 Shongfa Street, Daoli, Harbin 150070, China.

*** Laboratory of Fishing Technology and Engineering, Tokyo Univ. Fish., Konan 4-5-7, Minatoku, Tokyo, 108 Japan.

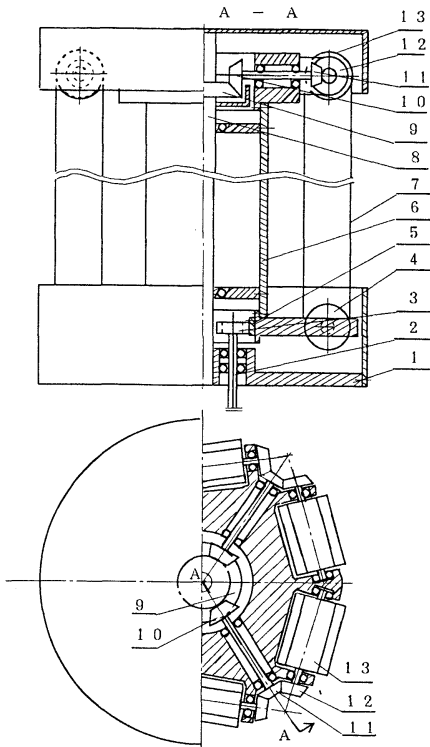


Fig. 1. Transmission draft of new mechanism net hauling drum. 1: Baseplate, 2: Driving shaft, 3: Driving gear, 4: Driven belt pulley, 5: Driven gear, 6: Supporting structure, 7: Synchronous belt, 8: Fixed main shaft, 9: Fixed gear, 10, 11, 12: Bevel gear, 13: Driving belt pulley.

speed and structure. For this special consideration, as a part of study on purse seine net hauling implements, the designed vertically moving belts type of new mechanism drum is adopted as the object of this study.

Just as Fig. 1 shown, The whole body of the drum is installed on the deck with the baseplate 1. The driving shaft 2 makes the supporting structure 6 revolve with the whole drum through gear 3 and gear 5. As the drum revolves, the bevel gear 10 turns, which meshes with the fixed centre bevel gear 9. Power is transferred to the driving belt pulley 13 by bevel gears 12 and 13. So that it is possible for the belt 7 to move up while the drum revolves. When it is used in purse seine fishing operation, at first, the head parts of sinker line and cork line are connected to a guiding rope

which have been wound around the drum for 3 or 4 turns, then, the implements start to run. During net hauling operation, the guiding rope leads net to pass through a net binding groove and the bound net bundle is guided to wind on the drum which is made up of several belts around. While the net rotates with drum it is carried up by the belts. In normal operation, the wound net is stationary on the belts of drum. After passed through 3 or 4 turns in space spiral, the net is transported to certain height to reach an net outgoing groove to be handled. Because the net is carried to move in space spiral and the pitch of spiral is a little larger than the width of net bundle, the net can be wound for 3 or 4 turns around the drum without any interference among the turns. In this way, the contact angle between net and drum is enlarged and the pull force for hauling net can be greatly increased. Based on this operation principle, the new mechanism net hauling drum has the advantages of considerable pull force, appropriate hauling velocity, convenient net handling and reasonable construction.

3. The theoretical analysis of the new mechanism net hauling drum

Refer to the construction and the principle of the net hauling drum, its motion conditions and advantages can be analyzed as following.

3.1 The kinematic analysis of net motion

As a net hauling implements, in order to increase contact angle and pull force, in this study the space spiral is adopted as the locus of net motion on drum when the implements work. To realize the spiral motion of hauled net, it is necessary to analyze the motion condition and to determine motion calculation of mechanism just as following kinematic analysis.

As Fig. 2 shown, if taking a little length of net as moving particle, its motion vector equation is

$$R(x, y, z) = xi + yj + zk$$

The velocity vector equation is

$$v = x'i + y'j + z'k$$

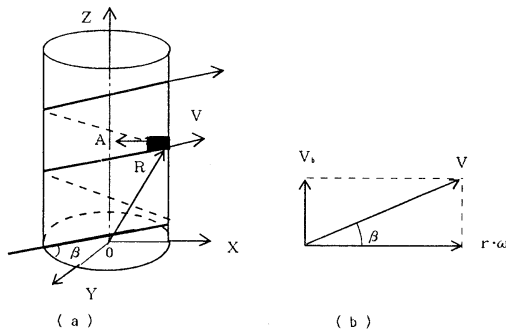


Fig. 2. The kinematic analysis chart. A: Centripetal acceleration of net motion, V: Speed of net motion, R: Radius vector of net motion, V_b : Speed of belt in vertical motion, $r \cdot \omega$: Tangent volcity of net motion, a: The vector chart of net motion, b: The vector chart of velocity, X: X coordinate axis, Y: Y coordinate axis, Z: Z coordinate axis, β : spiral angle, \blacksquare : a little length of net.

The acceleration vector equation is

$$A = x''i + y''j + z''k$$

Suppose that both the rotaion of drum and the up motion of belt are uniform. The parametric equation is

$$\begin{aligned} x &= r \cos \omega t \\ y &= r \sin \omega t \\ z &= v_b t \end{aligned}$$

So that, the value of velocity can be calculated with following formula:

$$v = \sqrt{x'^2(t) + y'^2(t) + z'^2(t)} = \sqrt{r^2\omega^2 + V_b^2} \quad (1)$$

The value of acceleration can be calculated as following:

$$A = \sqrt{x''^2(t) + y''^2(t) + z''^2(t)} = r\omega^2 \quad (2)$$

In formula (1) and (2), r is the radius of drum, ω is the angular velocity of drum, t is the time, v_b is the velocity of belt in up motion, v is the velocity of net motion in space spiral and A is the centripetal acceleration of net motion.

From the velocity vector figure (Fig. 2), the relation equation of v , $r\omega$ and v_b can be showed as following:

$$v_b = v \sin \beta \quad (3)$$

$$r\omega = v \cos \beta \quad (4)$$

The β is the spiral angle of space spiral for

net motion on drum. Its value can be selected by changing radius r or pitch h which is the height of net moving for the each turn or rotation.

$$\beta = \tan^{-1} \frac{h}{2\pi r}$$

As mathematical analysis equation above, when the drum works, in order to make the hauled net move in space spiral on the drum, the motion velocity must conform to the motion condition equation (1), (3) and (4). From the acceleration equation (2), $r\omega^2$ is the normal acceleration and the tangential acceleration is zero. On the condition that both the rotation of drum and the motion of belt are uniform, the space spiral motion of hauled net dose not cause any impulse.

3.2 The mechanical analysis of net hauling drum

According to Euler's equation for the tension of winding soft thing on the round body, the mechanism of net hauling drum can be analyzed as following (The Japanese Society of Fisheries, 1956):

$$s_1 = s_2 e^{\mu \alpha} \quad (5)$$

In this equation, s_1 is determined by the load of net operation. It can not be changed by implements itself. s_2 is acting force for hauling net by fishermen or other external force. The smaller is its value, the better. To reduce the value of s_2 the $\mu \alpha$ has to be increased. μ is corresponded with the material of bothe round body and net. It is difficult to increase its value. So that, the technical critical point to improve the performance of net hauling implements is to increase the angle of contact α .

In the situation of this drum, the angle of contact is divided into many parts by the belts, as showed in Fig. 3.

If taking one of those as α , the pull force can be calculated with following formula:

$$\begin{aligned} s_1 &= s_2 e^{\mu \alpha}, s_2 = s_3 e^{\mu \alpha}, s_3 = s_4 e^{\mu \alpha} \dots, \\ s_1 &= s_3 e^{2\mu \alpha} = s_4 e^{3\mu \alpha} = \dots = s_n e^{(n-1)\mu \alpha} \end{aligned}$$

The condition equation of preventing net to slip on the drum is

$$s_1 \leq s_n e^{(n-1)\mu \alpha} \quad (6)$$

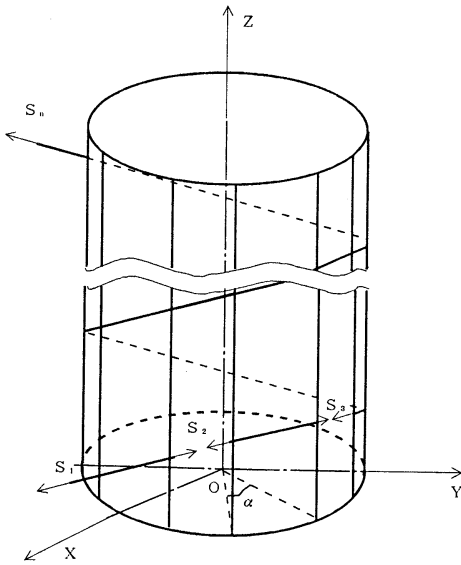


Fig. 3. The tension chart of new mechanism net hauling drum. \$S_1\$: Tension on the incoming end of net, \$S_2\$: Tension on the outgoing end of first passing belt, \$S_3\$: Tension on the outgoing end of second passing belt, \$S_n\$: External force in the outgoing end of net, \$\alpha\$: Contact angle of each belt, X: X coordinate axis, Y: Y coordinate axis, Z: Z coordinate axis.

In this formula, \$s_1\$ is the load force for net hauling in the incoming end. \$s_n\$ is the external force in the outgoing end of net. \$n\$ is the number of belts which the hauled net passes through on the drum. Its value can be determined by the number of net winding around the drum and the number of belts.

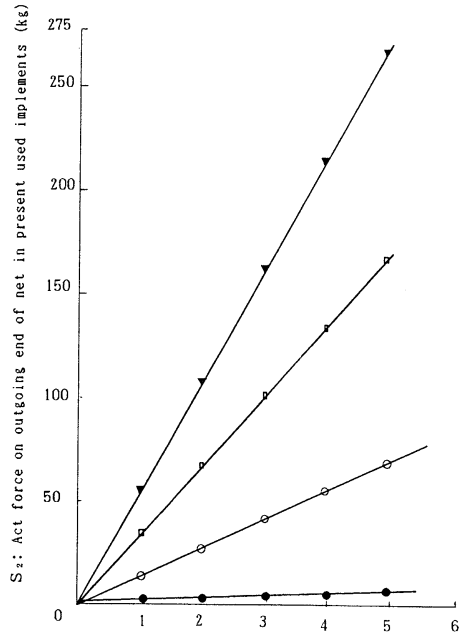
For the present used purse seine net hauling implements, the calculation of pull force is based on the formula (5). As single set of implements, the angle of contact always conforms equation

$$\alpha \leq \pi$$

The maximum pull force is

$$s_1 = s_2 e^{\pi \mu}$$

In the situation of this drum, the calculation of pull force is based on the formula (6). By reasonably distributing position of belts, the angle of contact \$\alpha'\$ for each turn of net winding is always



\$S_2\$: Act force on outgoing end of net in new mechanism drum(kg)

Fig. 4. The acting force comparison chart. N: Number of net winding around the drum, \$\bullet\$: N=1, \$\circ\$: N=2, \$\square\$: N=3, \$\blacktriangledown\$: N=4.

$$\alpha' \geq \pi$$

If the number of net winding is N, the minimum pull force is

$$s_1' = s_2' e^{N\pi \mu}$$

Comparing the present used implements with the improved designed drum, the pull force relation equation of net outgoing end becomes as following:

$$\ln \frac{s_1'}{s_2'} = \frac{1}{N} \ln \frac{s_1'}{s_2'} \text{ that is } \frac{s_1'^N}{s_2'^N} = \frac{s_1'}{s_2'} \quad (7)$$

In the purse seine fishing operation, the load force is always a given value, suppose that it is \$s_1 = s_1' = 1000\$ kgf, in the situation of drum, if the number of net winding is \$N=3\$, the minimum angle of contact is \$3\pi\$, the act force which is need for hauling net in outgoing end is \$s_2' = 5\$ kgf. While in the situation of powered block or side roller or net hauler, the maximum contact angle is \$\pi\$ and the value of act force should be \$s_2 = 170\$ kgf. It is as more than 30 times much as in drum. The act force relation is shown in Fig. 4. From the formula (7) and

the Fig. 4, we can know that when the load force is ensured, the comparison function of s_2 and s_2' is linear. It would be changed with the change of the value of N , just as shown in Fig. 4. The larger is the N , the more obvious is the change of s_2 corresponding with the s_2' .

4. Discussion

The purpose of studying the mechanism of drum is to improve the feature of purse seine net hauling implements by increasing the angle of contact. From the analysis of construction, kinematics and mechanics, it is possible and feasible. The method to improve the performance of present used net hauling implements by changing its construction to increase contact angle up to 3 or 4 turns is more reasonable, more significant and more effective than to increase number of implements or to combine one type of implements with others in purse seine net hauling operation. As conclusion, if this drum is suitably installed on fishing vessel, it can adapt to the need of changing group vessel operation into single vessel operation in purse seine fishing and can reduce the number of fishermen and save labour. Compared with the present used net hauling implements, it has following specifics:

1) To increase contact angle, the net can be wound up to 3 or 4 turns around the drum.

The pull force can be greatly increased. The acting force in the outgoing end can be reduced.

- 2) The hauled net can be carried to proper height for handling net and stowing it easily.
- 3) According to the need of hauling force, the acting force can be adjusted by changing the number of net winding around the drum.
- 4) Because net is carried up by the belts. The wear and tear of fishing gear can be prevented.
- 5) It not only can be used in purse seine fishing operation, but also can be used in other types of net fishing operation.

References

- KANEKO, A. (1988): Thirty Year's History of Japanese Distant-water Purse Seine Fishing. Special Issue, Distant-water Fishing Association of Japan, pp. 108-111.
- KRISTJONSSON, H. (1971): Modern Fishing Gear of the World. Fishing News (books) LTD. London England, pp. 158-298.
- MATUBAYASHI, N. (1992): Labour Saving System of Purse Seine Fishing. The Journal of Fishing Boat Association of Japan, No: 298, pp. 89-93.
- SAHRHAGE, D. (1992): A History of Fishing. Springer-verlag Berlin Heidelberg, pp. 126-130.
- The Japanese Society of Fisheries (1956): Fisheries Book (fishing). Press department of Japanese Society of Fisheries, pp. 222-225.

巻網揚網用の新縦型ドラム機構の理論的解析

曹 広 斌・矢 田 貞 美

要旨 揚網用の新縦型ドラムの揚網機構について、従来機構と理論的に比較解析した。本縦型ドラム機構は、ドラムに3、4周巻かれて螺旋運動しながら揚網するので摩擦力が増大し、揚網力も従来機構より大きいものと推定される。

DGPS的手法による船首方位の測定*

中村善彦**・宮本佳則**・林 敏史**

Measurement of ship heading using DGPS technique*

Yoshihiko NAKAMURA** Yoshinori MIYAMOTO** and Toshihumi HAYASHI**

Abstract: Gyro compass and magnetic compass have been used for measuring the ship heading. But gyro compass is need a space, stabilized electric power, have to do a routine check up and have long time to be stabilized for indicate ship heading. In these reasons, gyro compass is not fitted with a small boat. Magnetic compass is difficult to get and electric signal and have to correct deviation. GPS (Global Positioning System) computes a vessel speed and direction which is not ship heading. Measurement of ship heading was done using two sets of GPS; one was set on bow and the other on stern. Both GPS position data were recorded into their memory. Afterwards, all data were down-load for a personal computer and the ship heading (GPS heading) was calculated from two GPS position data by a personal computer. This measurement observations were tested on the ground and observed on the ship. On the ship observations, gyro compass heading data were recorded in a personal computer to compare with GPS heading. As a results, GPS heading was almost match with gyro compass heading, but stability was slightly unstable. In some case, the GPS heading data were remarkably deviated from gyro compass data because of various value of each GPS PDOP (Positin Dilution Of Precision).

1. 緒言

船首方位の測定機器には、ジャイロコンパスと磁気コンパスがある。前者は起動に時間がかかり、安定した電源や設置場所を必要とすること、定期的な整備に手間がかかることなどのために、特に出入港の頻繁な小型船舶には適さない。後者は、小型であるが地磁気や船体磁気の影響で真方位を示すものではなく、方位の電気的信号を取り出すには特別な装置(鈴木ほか, 1979)が必要となる。近年普及してきたGPS受信機にも移動方向をベクトル表示する機能(富岡・関根, 1990)はある。しかし、この場合の移動方向は、風や潮流などの影響を含めた合成ベクトルであり、船首方位とは一致しないことが多く、移動速度が遅い場合には表示されない。また、GPSアンテナを3台から4台用い、衛星からの疑似距離の差を搬送波で比較し、ヨーイング、ローリングおよ

びピッチングを求める研究が行われている。しかしこれらのGPS受信機は特殊であり、一般的ではない。

一方、近年盛んに行われている超音波ピンガー等を用いて魚の行動追跡(韓他, 印刷中)および有索式水中カメラ(ROV)(韓他, 1994)や潜水中のダイバーの位置(KHALID *et al.*, 1994)を計測する場合、それらの位置は船に対する相対位置として求められる。従って、その絶対位置を得るためにはまず船首方位情報が必要である。しかも、これらの研究で用いられる船舶は小型であり、ジャイロコンパスや磁気コンパスでは不都合な点が多く、GPSのベクトル方位では船首方位と異なる。

本研究では、ハンディータイプのGPS受信機2台の位置から船首方位の測定を試みた。2台のGPSを用いたDGPS法で位置を求めた場合、SA (Selcive Availability), 時計誤差, 電離層遅延誤差, 対流圏遅延誤差は除去できるが、多重経路(マルチパス)にもとづく誤差や機器誤差は残る。そこでまずマルチパスにもとづく誤差や機器誤差が方位測定に与える影響を確認するために、予備実験として地上の同一線上に2台のGPSアンテナを設置し、それらのアンテナ間の距離を変え、方位

* 1995年9月12日受理 Received September 12, 1995

** 東京水産大学海洋生産学科, 〒108 東京都港区港南4-5-7

Tokyo University of Fisheries, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo, Japan, 108

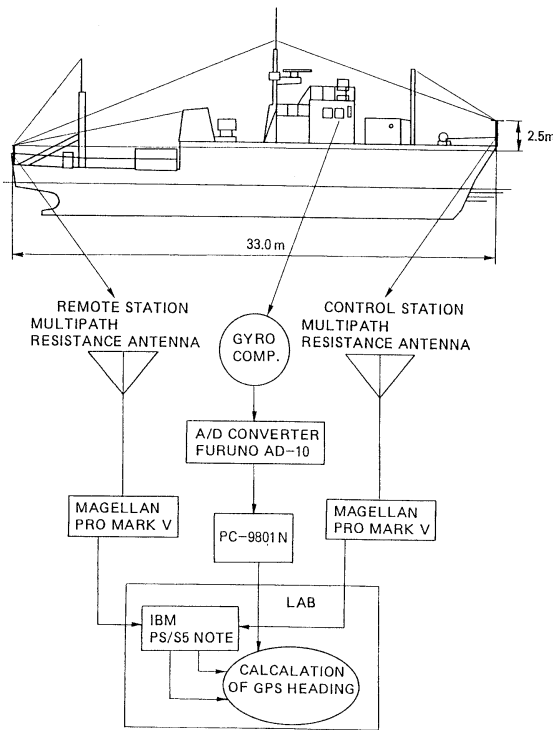


Fig. 1. Sketch of 2 GPS multipath resistance antennas and structures on decks of T/S Seiyo-Maru (upper) and experimental setup for calculating shipborne heading (lower).

の測定を行った。次に、海上において東京水産大学練習船青鷹丸の船首および船尾にそれぞれGPSアンテナを設置し、航行中の直進および変針時に船尾を基準として船首方位を測定した。同時にジャイロコンパスの指示方位も記録し、GPSで求めた船首方位(GPS方位)を評価した。

2. 実験方法

測定には、ハンディタイプのGPS受信機(Magellan Pro MARK V)とマルチパスレジスタンスアンテナ(Magellan)を2組用いた。このGPS受信機は1秒毎にデータを更新し、測位データ等を収録する機能を有している。

予備実験では、東京水産大学海洋生産学科A棟の屋上において、同一方位線の上に2組のGPSアンテナを設置して行った。2つのGPSアンテナ間の距離を1, 2, 5, 10, 33および50mに変え、それぞれの距離で10分間の連続測定を5回ずつ行った。GPS受信機の設定は

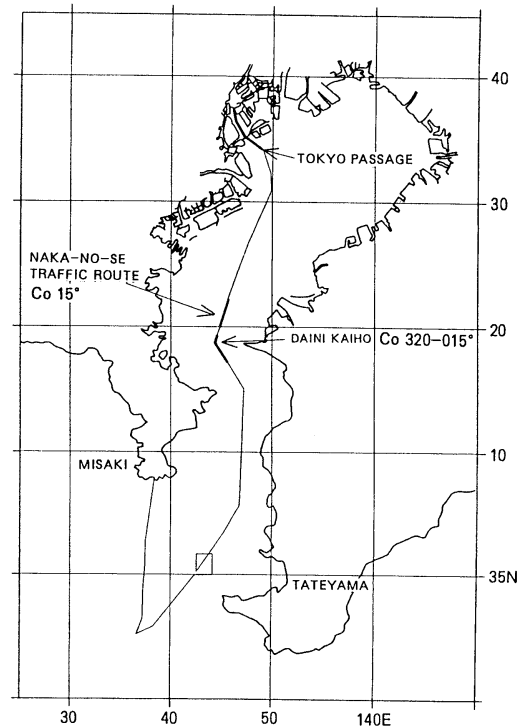


Fig. 2. Experimental waters and Seiyo-Maru track chart.

3次元測位で、2つの受信機が受信する衛星番号はそれぞれの距離で同一に設定した。

Fig. 1は青鷹丸を用いた海上測定における機器配置および甲板上的の構造物の配置を示したものである。アンテナは船首尾線上の船首旗竿台と船尾部に設置した。アンテナ間距離は33mで、船尾に設置したアンテナが船首のそれより2.5m低い。屋上における予備実験と同様、受信する4個の衛星の番号を合わせ、1秒間隔で三次元測位した。ジャイロコンパス(トキメック TG-5000)の指示方位は、A/Dコンバータ(FURUNO AD-10)を通じて1秒毎に、10分の1度の分解能でパーソナルコンピュータ(NEC PC-9801N)のフロッピーディスクに記録した。Fig. 2に実験海域および航跡を示す。測定は航跡図中に示すように(1)直進航行、(2)変針を含む航行、(3)港内航行の3つの条件で行った。測定中の船の速度は5~10ノットに設定した。

予備実験および海上測定とも、測定終了後RS 232Cインターフェイスを通じてパーソナルコンピュータ(IBM PS/55 NOTE)に2台分のデータを転送し、ハードディスクに記録した。GPS方位の計算には、2組のGPSデータの時刻合わせを行い、平均中分緯度航

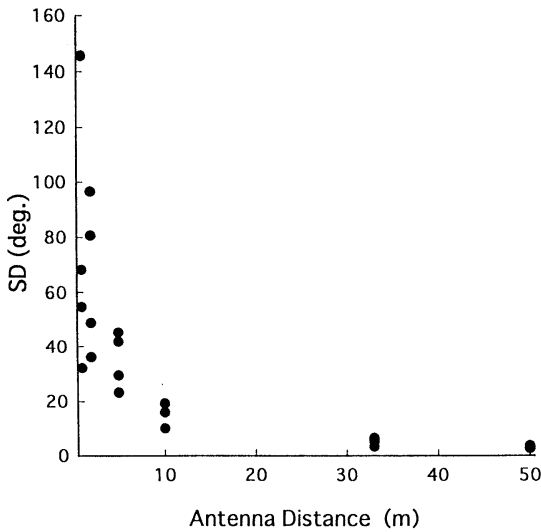


Fig. 3. Standard deviation of the azimuth distribution for a duration of 10 minutes at different distances.

法を用いた。2台のGPS測位位置の緯度経度をそれぞれ (ϕ_a, λ_a) および (ϕ_b, λ_b) とすれば、同航法からGPS方位 θ° は次式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{(\lambda_a - \lambda_b) \cos \frac{\phi_a - \phi_b}{2}}{\phi_a - \phi_b}$$

予備実験ではどちらかを基準とし、もう一方の方位を計算した。海上測定では船尾のGPSを基準として船首のGPSの方位を船首方位としてGPS方位を計算した。

3. 予備実験の結果

2台のGPSを用いたDGPS法で位置を求めた場合、SA、時計誤差、電離層遅延誤差および対流圏遅延誤差など時間経過に伴う位置の変動は除去できるが、マルチパスにもとづく誤差や機器誤差など独立した誤差要因にもとづく誤差は残る。そこで、独立した誤差要因がGPS方位測定に与える影響を明らかにするために、方位が分かっている同一線上に2台のGPSアンテナを設置し、そのアンテナ間の距離を変え、方位を測定した。測定に用いた2台のGPS受信機においては、最初の信号受信時刻は異なるが、あとに続く信号は1秒間隔で精度良く受信されている。10分間の測定期間において、2台のGPSアンテナの受信時刻の時間の食い違いはほぼ一定で、0.003秒以内に収まっている。

Fig. 3は2台のアンテナの距離の変動にともなう

GPS方位誤差の標準偏差を示したものである。標準偏差は同図からも明らかのように、距離が10mまでは大きな値を示しているが、33m以上離れると 3° 程度に収まっている。今回のDGPSによる測位の相対誤差は、測定距離内では距離が変わってもほぼ一定であった。従って、GPS方位の誤差は一点から他の点の誤差を見込む角度で示されるので、2点間距離(アンテナ間距離)が増すことによって誤差は減少したものと考えられる。

4. 測定結果

1) 直進時

Fig. 4は中の瀬航路を針路 15° で直進航行中のジャイロコンパスの指示方位とGPS方位およびジャイロコンパスを基準としたGPS方位誤差を示したものである。GPS方位誤差は 7° 程度の幅で変動している。GPS方位はほぼ安定しているが、丸印で示すように指示方位が大きくずれて、方位誤差が大きく現われているところがある。GPS方位が大きくずれた場合を除いたときの船首方位の誤差の標準偏差は 3.9° であり、屋上のアンテナ間距離33mで測定されたGPS方位の標準偏差 3.3° に比べてわずかに変動が大きい。

2) 変針時

浦賀水道航路の第2海堡付近において針路を 320° から 15° へ変針したときの結果をFig. 5に示す。針路 320° で航行しているときに、ローリングによるマルチパスの影響と考えられるGPS方位の大きな変動が認められる。しかし変針時には、GPS方位にわずかな遅れが認められるが、ジャイロコンパスの指示方位とほぼ一致している。この測定ではGPS方位の安定性は先の直進時に比べ悪く、大きな指示誤差(丸印)を示すところも増加している。GPS方位が大きくずれた場合を除いたときの船首方位の誤差の標準偏差は、直進時に認められたGPS船首方位の大きい変動が効いて、 8.4° と大きくなっている。

3) 港内航行

港内航行の結果をFig. 6に示す。東京航路9番ブイから16番ブイまでの海域で、頻繁に舵を使用した場合である。先の変針時の結果と同じようにGPS方位にわずかな遅れが認められるが、ジャイロコンパスの指示方位とよく整合している。この測定では、1)直進時や2)変針時と比較して、方位誤差が大きく現われている丸印の箇所が多く見られる。GPS方位が大きくずれた場合を除いたときの船首方位の誤差の標準偏差は 5.6° であった。

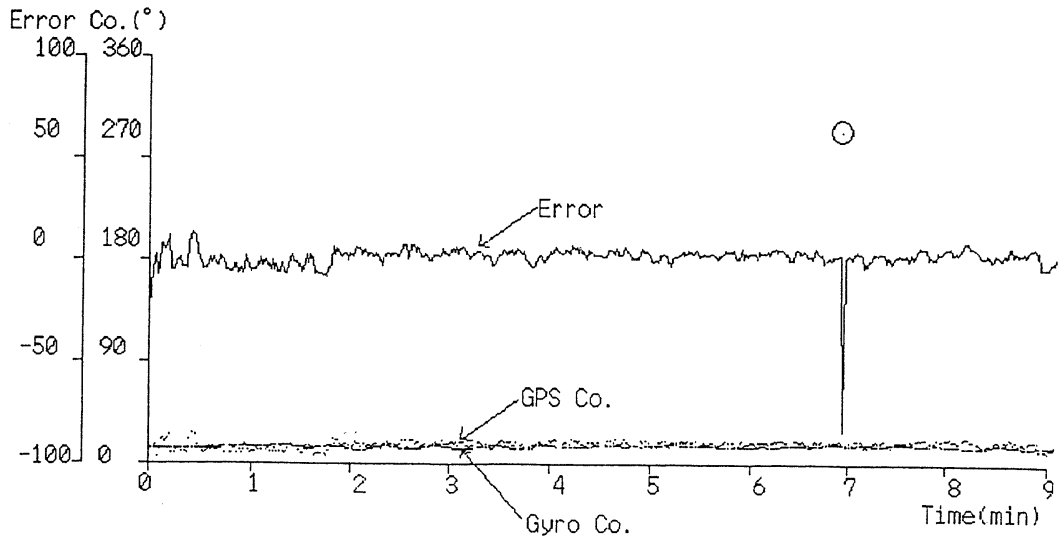


Fig. 4. Ship headings obtained by GPS fitted with 2 multipath resistance antennas set on fore and aft decks and by gyro compass and the heading error while cruising along Naka-no-se traffic route compass course of 15 deg. Symbol \circ represent large error deviated from the ship heading.

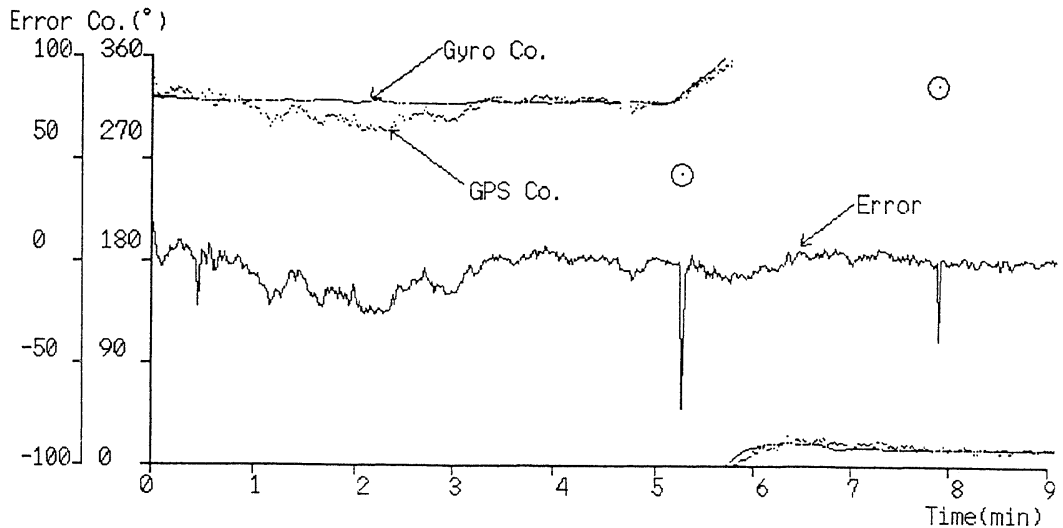


Fig. 5. Ship headings obtained by GPS and by gyro compass and the heading error while cruising along Uragasuido traffic route when changing course from 320 deg to 15 deg near Daini kaiho. Same symbol as in Fig. 4.

5. 考察

青鷹丸の航行中の船首方位の変動は大学屋上で測定した結果と比べて変動が大きい。Fig. 1 に示すように、青鷹丸の船首尾線上に設置したマルチパスレジスタンスアンテナの高さは船首側が2.5m高い。船首と船尾のGPSのアンテナの高さが異なることは両者のPDOP値 (Position Dilution Of Precision : 3次元測位を行う上での

精度低下率) にずれを生じさせる原因 (柿原他, 1988) と考える。そこで、この影響を調べるために、屋上にアンテナ間距離を青鷹丸の長さと同しく33mに設定し、アンテナの高さに2.5mの差をつけた場合および差が無い場合についてそれぞれGPS方位を測定した。その結果、GPS方位の平均値は両者とも同一値であった。しかし、GPS方位の標準偏差は前者が7.4度であり、アンテナの

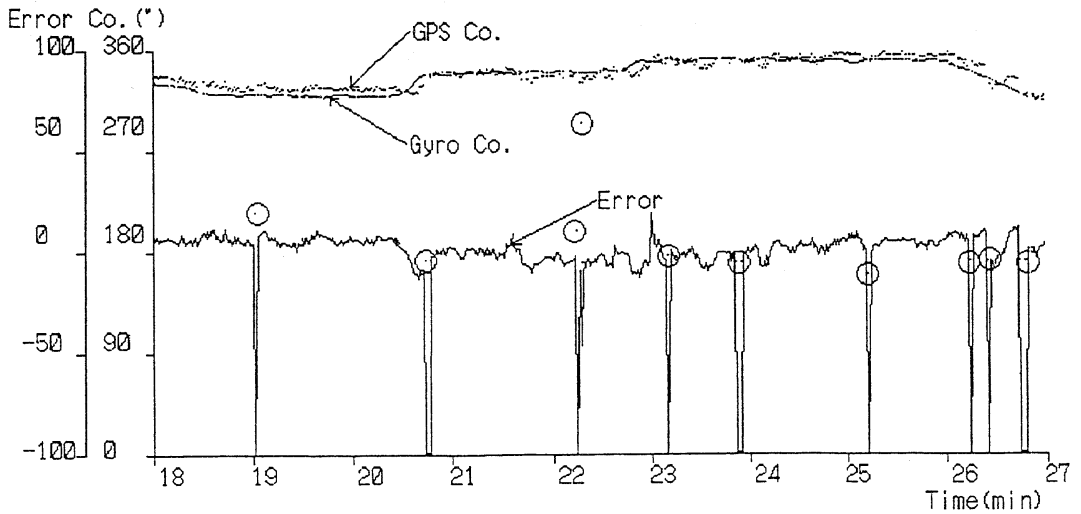


Fig. 6. Ship headings obtained by GPS and by gyro compass and the heading error while cruising along Tokyo passage from No. 9 to No. 16 buoy under varying course and speed. Same symbol as in Fig. 4.

高さが等しい場合の標準偏差 5.3° と比較するとばらつきが大きく、アンテナの高さの違いによると考えられる影響が認められた。標準偏差はかなり大きい、これは PDOP 値が大きいことによるものと考えられる。

Fig. 4, 5, 6 の図中に丸印を付けてある点がいくつかある。この点は、船首尾の GPS で PDOP が 0.5 以上異なっているデータに該当する。海上測定当日の風向は南、風力 4~5、海況 2~3 であった。測定に用いた青鷹丸は、船の長さの割に風圧面積が広く、風の影響を受けやすい船型であることから、たとえマルチパスレジスタンスアンテナを用いたとしても、船体の動揺が大きい場合にはマルチパスの影響を受けたものと考えられる。また、2つの GPS が使用する 4つの衛星を同じにしても両者の PDOP 値が大きく異なるのは、船体の動揺により甲板上の構造物が衛星を遮蔽した場合およびレーダや無線通信波のスプリングが影響した場合などが考えられる。さらに、港内航行の結果では航路両側に大きな建物が多く建ち並んでいるために、それらによるマルチパスの影響を受けていたものと考えられる。

変針時に GPS 方位の追従が遅れる原因については、GPS 受信機がそれぞれ個別に衛星からの信号を受信しているため、受信時間にはずれが生じることが考えられる。測位に要する時間は、一般的に受信してから 1 秒余りかかるとされており、指示された位置は 1 秒余り前の位置と言うことになる。したがって、航行中の測定では GPS 受信機間の受信時間のずれおよび処理に要する時

間に起因するずれ等が加算され、方位誤差として現れたものと考えられる。

本研究では 2 台の GPS の測定位置だけを用いて船首方位の測定を行った。この方法であれば、ジャイロコンパスを装備できない船舶でも、特殊な磁気コンパス（宮本他、1992）や GPS 受信機を用いることなく船首方位をデジタル信号で得ることが可能である。ジャイロコンパスと比較して指示安定性はあまり良くないが、GPS 方位を移動平均等の処理をすれば方位指示は安定し、簡便な船首方位指示器として利用できると考える。今回は、小型船に適用するにはアンテナ間距離が大きすぎる結果であった。今後さらにチャンネル数を増やすなど、実験を続ける必要がある。

文献

- 柿原利治, 若木毅, 柳川三郎 (1988): アンテナ高さ誤差が GPS 測位精度に及ぼす影響, 日本航海学会論文集 79, 33-38.
- KHALID S., E. HAMADA, K. SAITO and Y. NAKAMURA (1994): Acoustic Telemetry of position data to a diver from a support boat in shallow water. Tokyo Suisandai Kempo 81, 57-69.
- 韓軍, 宮本佳則, 濱田悦之, 中村善彦: 魚の行動解析のための同期法超音波ピンガー追跡システム, 日本水産学会誌 61 (3): 369-374. (印刷中)
- 韓軍, 濱田悦之, 中村善彦, 斎藤清隆 (1994): 同期法超音波ピンガーを用いた ROV の測位, 水産工学 31 (1): 1-6.
- 宮本佳則, 白井靖幸, 濱田悦之, 斎藤清隆, 鈴木裕

- (1992) : 磁気センサを用いた3磁気軸検出方式電子コンパスに関する研究, 日中航海学会, 169-176.
- 鈴木裕, 濱田悦之, 白井靖幸, 波多野浩, 斎藤清隆, 松瀬隆哉 (1979) : デジタル指示磁気コンパスの試作と性能に関する研究, 日本航海学会論文集 60:29-36.
- 富岡源一郎・関根兆五 (1990) : 船首方位測定装置, 特許広報 (B2), 平2-5-5750, 日本国特許庁.

クロアワビの夜間行動を抑制する水中の明るさ*

森川由隆**・小池 隆**・森永 勤**

Inhibition of locomotor activity by the light levels at nighttime in the Japanese abalone *Haliotis (Nordotis) discus**

Yoshitaka MORIKAWA**, Takashi KOIKE*** and Tsutomu MORINAGA**

Abstract: We have developed apparatus to detect abalone movement by measuring tension in wires from which the abalone's cage hangs. This apparatus using fixed light intensities has been used to examine the activity behavior under simulated day/night conditions. Under 12:12 simulated day/night conditions at 10 and 0 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$, respectively, abalones showed clear activity patterns, being stationary during day periods and showing locomotor activity in complete darkness. The light intensity during day periods was fixed at 10 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ and during night periods light levels brighter than $1 \times 10^{-3} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ inhibited any locomotor activity. In light intensities of $1 \times 10^{-4} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ and less, the same levels of lively activity were measured for replicates as for in complete darkness. From this, we conclude that locomotor activity is inhibited by light intensities brighter than $1 \times 10^{-3} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$.

1. 序論

前報において、著者等はアワビ等の夜行性動物は月明かりレベルの極めて微少な明るさを感じ、行動に反映しているとの観点から、屋外の自然光下でクロアワビの行動観察と水中の明るさの連続測定を同時に行った。その結果、クロアワビは日没から夜明けまでの夜間に行動を行い、行動を開始する水中の明るさは約 $1 \times 10^{-3} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ 以下であった。また、月夜には夜間行動が抑制されることが多く、その場合の水中の明るさは $1 \times 10^{-4} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ 以上であることを明らかにした(森川他, 1993)。その際、クロアワビは目視観察できる明るさ未満の微弱な光にも何らかの反応を示す可能性が推察された。また、自然光による照明は明るさが天候や時刻あるいは夜間においては月齢によって変化し、微少で安定した値が得にくいことを指摘した。そこで微少な明るさに

よるクロアワビの行動の変化を詳細に把握するためには、行動計測の手段の中で赤外線感知装置やVTR画像解析装置のように光センサーを使うことなく、行動を観察する手法を開発すること、さらに水槽内を極微少な明るさで均一に照明することが望まれた。

本報ではクロアワビの行動におよぼす光の影響を解明する一環として、吊り下げ方式を用いたアワビの行動計測装置を開発し、さらに、装置内に光制御器を組み込んで微少な光条件を設定し、明・暗期における各行動の計測より、夜間行動を抑制する水中の明るさを検討した。

2. 実験装置および方法

2-1. 吊り下げ方式による行動自動計測装置の開発

個体を収容したカゴを水中に吊り下げ、カゴ内を個体が移動した際に生じる吊り糸の張力変化をセンサーにより検出し、行動を定量化する仕組みの装置を試作した。

装置の概要をFig. 1-Aに示す。樹脂製の黒色カゴ(EC: 47×34×21cm)を4隅に取り付けた4本のステンレス製ワイヤー(SW)で吊り下げた。4本のワイヤーのうち、片側の2本を固定し、もう片側の2本を電子天秤(EB A&D: EW-A/B)に接続した。電子天秤はRS 232Cインターフェイスを介してパーソナルコンピュータ(PC NEC: PC-9801VM)と接続し、コンピュータで

* 1995年9月20日受理 Received September 20, 1995

** 東京水産大学海洋生産学科
Department of Marine Science and Technology, Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo, 108 Japan

*** 三重大学生物資源学部
Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu, Mie, 514 Japan

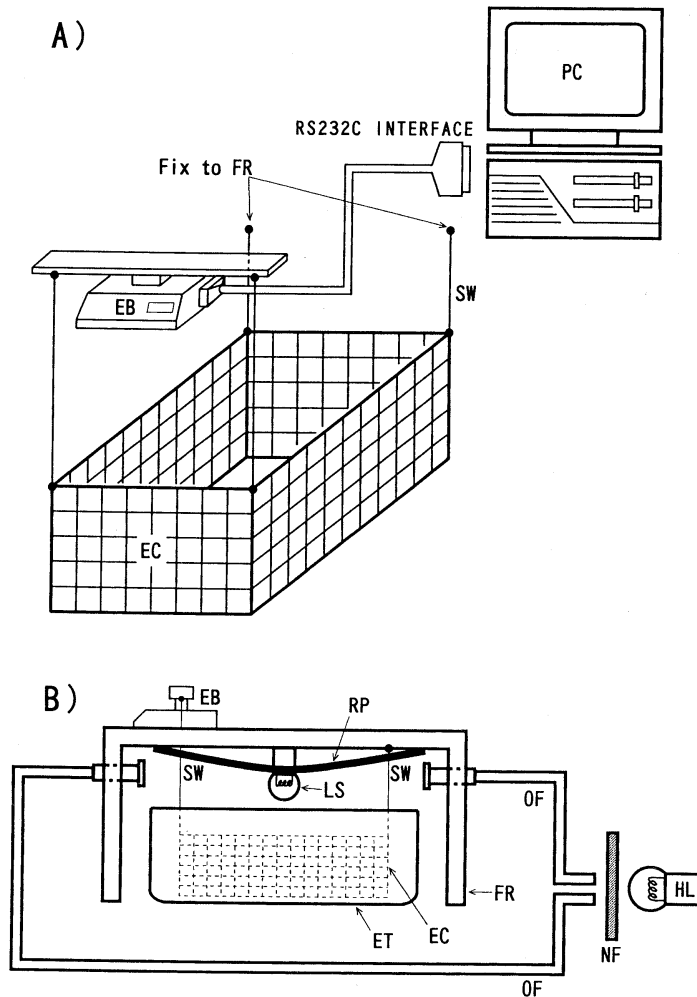


Fig. 1. Schematic sketch of the apparatus. PC: Personal computer, SW: Stainless wire, EC: Experimental cage, EB: Electronic balance, RP: Reflection plate, LS: Light source, OF: Optical fiber cable, FR: Frame, ET: Experimental tank, NF: Neutral filter, HL: Halogen lamp.

天秤の秤量値を一定時間間隔で自動的に読み取り、フロッピーディスクに記録できるようにした。

これらを Fig. 1-B に示した装置に組み込んだ。装置内の光環境は電球を光源として、電球にタイマーを接続することで明期と暗期を作り出した。明期は実験水槽の上部に100V 60Wの白色電球 (LS) を2個取り付け、水槽内に懸垂されたカゴの中をほぼ均一に $10 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ で直接照射するようにした。一方、暗期は月明かりレベルの微少な明るさを正確に作り出すために、装置の外部に100V 160Wのハロゲンランプ (HL) を用意し、光ファイバケーブル (OF) 2対によって装置の両側面より光を内部に導いた。光ファイバによって装置の

内部に導かれた光は、枠組み上部に取り付けた白色反射板 (RP) によって反射し、カゴの中をほぼ均一 (誤差率12%以内) に間接照射できるようにした。また水銀ランプと光ファイバケーブルの間には10%, 1%, 0.1% の減光フィルター (NF) をそれぞれ挿入することによって、カゴの中を 1×10^{-2} , 1×10^{-3} , 1×10^{-4} および $1 \times 10^{-5} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ の4種類の明るさに調節できるようにした。なお、水槽および枠組みには全て艶消しの黒色塗装を施し、さらに枠組みを黒色のビニールシートで覆い、外部からの光の進入を完全に遮断した。

この装置のカゴの中にクロアビを1個体収容し装置を作動させると、個体がカゴの中を移動するにともない、

張力の変化がコンピュータに記録された。これら張力の変化量と移動距離とはよく対応していた。そこで、これら張力変化量から個体の動きを簡便に表すために以下のような解析を行った。すなわち、ワイヤーの1分間における張力の差を算出することで張力の変化量を求め、その値が0.5g重以上であった場合の回数を行動頻度として1時間毎に計数した。ここで変化量を0.5g重以上に定めたのは、この値より大きい場合、移動方向を変えるような小さな動きを捉えることができず、逆に小さい場合は換水のためのカゴの小さな揺れによるノイズまで計測してしまうためである。

2-2. 材料および実験方法

実験に使用した材料は千葉県館山市伊戸地先および同県外房の千葉大学理学部付属海洋生態系研究センター小湊実験場の各保護水面において、スクーバ潜水によって採取したクロアワビ *Haliotis (Nordotis) discus* で、その殻長は89.0~103.3mmであった。採取後は屋外の自然光のもとで十分量の餌料（アラメ *Eisenia bicyclis*, カジメ *Ecklonia cava*, ワカメ *Undaria pinnatifida*）を与えて数ヶ月間放養した。用意した個体は27個体であったが、その中から行動が活発な個体12個体を選別し実験に供した。

行動測定装置のカゴの中に内径10cm、長さ12cmの半円形シェルターを固定し、その中にクロアワビ1個体を収容した。明暗周期は6:00から18:00を点灯（ $10 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ ）、18:00から6:00までを消灯（ $0 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ 暗黒状態）することによって与えた。この状態で3日間個体を馴致した後、実験を開始した。実験は6日間を1実験段階として、3段階の計18日間継続して行い、この18日間を実験単位とした。実験中、明期の明るさは常に $10 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ とし、暗期の明るさを実験段階毎に変えた。すなわち、暗期の1段階目および3段階目のそれぞれ6日間は明るさがない暗黒状態（ $0 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ ）とし、2段階目の6日間のみ照明した。2段階目の暗期の明るさは 1×10^{-2} から $1 \times 10^{-5} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ までの範囲内の4種類で、1実験単位毎にその明るさを変えた。これにより、暗期に光がまったくない状態と明るさを与えた状態での行動の変化を比較し、夜間行動が抑制される明るさを求めた。なお、実験中の投餌は一切行わず、実験単位毎に新しい個体と交換した。また、装置の外部には調温用の水槽を設け、水流ポンプによって実験水槽と約5l/minの割合で海水を循環させながら、海水クーラーおよびヒーターにより、水温を常に18~20℃に調節

した。

3. 結果

暗期に明るさ 1×10^{-2} および $1 \times 10^{-4} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ を与えた場合について行動頻度の経日変化をFig. 2に示す。明期の明るさは $10 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ と常に一定である。

Fig. 2-Aにおける暗期が暗黒状態では、実験段階I、IIIの双方において光の明暗に同調した行動の周期性がみられた。すなわち、クロアワビは明期にはほとんど動かず、暗期に入ると同時に行動を開始し、その後明期になる前には行動を停止した。この行動の周期性は6日間継続して確認されたが、行動量は実験段階IIIが少し減少した。つぎに、暗期が $1 \times 10^{-2} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ の明るさ（実験段階II）では、行動の周期性に変化が現れた。すなわち、暗期における行動頻度が実験段階I、IIIと比較して著しく減少した。この減少傾向は6日間失われることがなかった。

Fig. 2-Bにおける暗期の明るさが暗黒状態では、Fig. 2-Aの場合と同様に明暗に同調した明確な行動の周期性がみられた。しかし、行動頻度は前者に比較して減少する傾向がみられた。暗期が $1 \times 10^{-4} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ の明るさでは、ある程度の明確な行動の周期性がみられた。行動頻度は実験段階I、IIIの場合より減少し、この傾向は6日間継続した。

Fig. 3に暗期12時間における行動頻度の積算値の経日変化を、前述のそれぞれの明るさについて示す。図中のA1、A2、A3、C1、C2およびC3はそれぞれ実験個体を表す。

同図より、暗期の明るさ $1 \times 10^{-2} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ では、実験を行った3個体とも暗期に明るさを与えると明らかな行動頻度の減少が認められた。しかし、 $1 \times 10^{-4} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ では行動頻度は経過日数によって多少変動するが、3個体とも暗期の明るさとは無関係であった。すなわち、暗期の明るさ $1 \times 10^{-4} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ では $1 \times 10^{-2} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ のような行動頻度の減少は見られなかった。

次に、クロアワビの行動を抑制する明るさを求めるため、 1×10^{-2} 、 1×10^{-3} 、 1×10^{-4} および $1 \times 10^{-5} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ の各々の明るさにしたときの暗期12時間における行動頻度を各実験段階ごとに平均し、差を検定した。それらの結果をTable 1に示す。

暗期の明るさ $1 \times 10^{-2} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ （実験段階II）の行動頻度は、暗黒状態（実験段階IとIII）に比較して明らかに差がみられ、およそ10~20%程度にまで減少した。この傾向は実験を行った3個体に共通して認められ、実

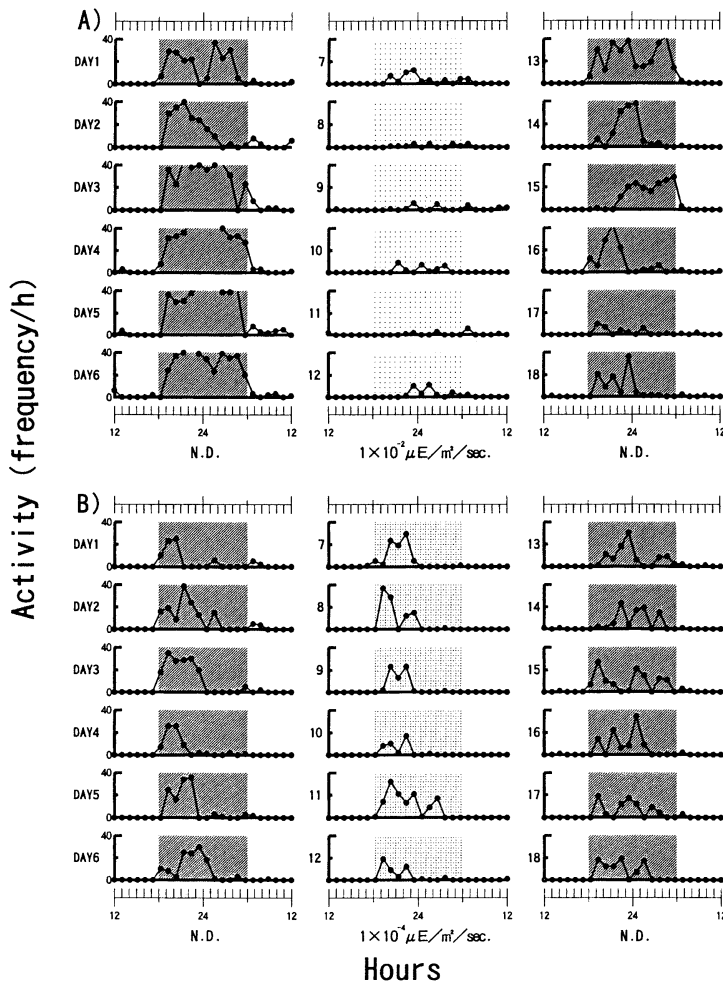


Fig. 2. Locomotor activity of individual abalone *Haliotis discus* over 18 day/night periods to examine the effect of varying light levels. Replicate abalones A) were maintained for 1-6 nights in light intensities below detectable levels (N. D.) then for nights 7-12 at $1 \times 10^{-2} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ then at N.D. levels for 13-18 and B) under the same light regime but nights 7-12 at $1 \times 10^{-4} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$. Activity is expressed as the sum of movements registering $>0.5\text{g}/\text{min}$ over a 1 hour period. Shaded areas denote night periods.

験段階Ⅱの行動頻度は実験段階ⅠおよびⅢとの間に危険率1%において有意な差がそれぞれ認められた。また、この減少傾向は暗期の明るさ $1 \times 10^{-3} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ でも同様に確認され、危険率1%でB2の1個体が、他の2個体(B3については実験段階Ⅱと実験段階Ⅲの間のみ)は危険率5%で有意な差がそれぞれ認められた。さらに、暗期の明るさ $1 \times 10^{-4} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ では3個体とも明るさによる行動の差は全く認められなかった。しかし、暗期の明るさ $1 \times 10^{-5} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ ではD2およびD3の個体において実験段階ⅡとⅠの間に危険率1%の有意差があっ

た。ただし、これらの個体は実験段階ⅡとⅢの間には差が全く見られなかった。

以上のことから、クロアワビの暗期における行動は、明るさ $1 \times 10^{-3} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ 以上において顕著に抑制されることが確認された。

4. 考 察

従来、動物の行動を測定するための方法としては、目視観察以外に赤外線カメラ等を用いたVTR画像解析法(森永他, 1988)や光電スイッチ法(永田他, 1977; REID

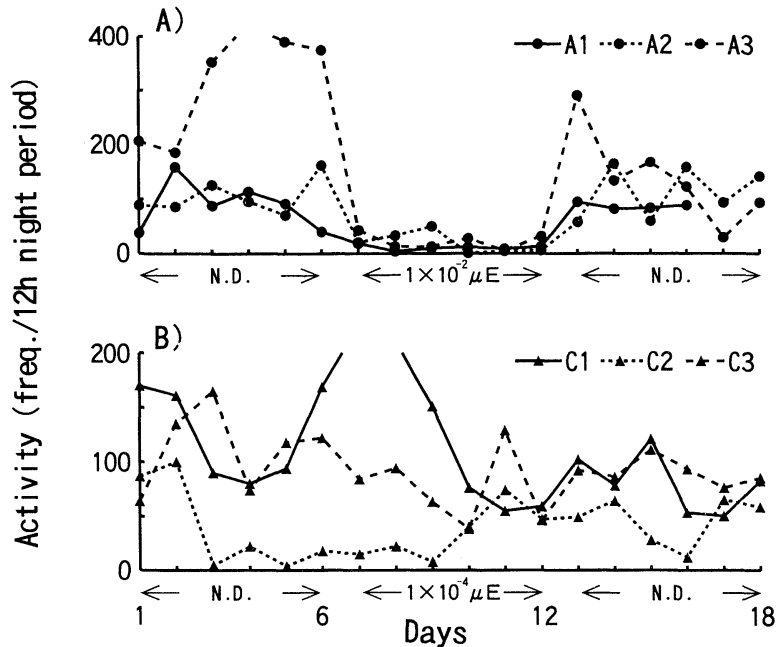


Fig. 3. Variation in locomotor activity of replicate abalones *Haliotis discus* A) maintained for 1-6 nights in light intensities below detectable levels (N. D.) then for nights 7-12 at $1 \times 10^{-2} \mu E/m^2/sec$ then at N. D. levels for 13-18 and B) under the same light regime but nights 7-12 at $1 \times 10^{-4} \mu E/m^2/sec$. Activity is expressed as the sum of movements registering $>0.5g/min$ over the 12 hour night period. Only values for night periods are shown.

Table 1. Light conditions and locomotor activity (mean \pm S. D.). Activity is expressed as the sum of movements registering 0.5 g/min over the 12 hour night period. The mark * and * * represent significant differences compared to data of E.S. II at $p < 0.01$ and $p < 0.05$, respectively.

Individual No.	Light intensity of night period at E.S. II ($\mu E/m^2/sec$)	Activity (frequency/12h night period)		
		I (1-6)	Experimental Stag (days) II (7-12)	III (12-18)
A1	1×10^{-2}	88.5 \pm 41.9*	11.2 \pm 4.5	87.5 \pm 5.0*
A2	↓	105.0 \pm 30.4*	19.3 \pm 17.6	113.0 \pm 44.5*
A3	↓	322.0 \pm 91.3*	22.5 \pm 12.9	140.0 \pm 79.7*
B1	1×10^{-3}	105.8 \pm 74.6**	29.2 \pm 15.4	121.4 \pm 66.9**
B2	↓	107.0 \pm 27.4*	21.3 \pm 19.4	129.8 \pm 45.4*
B3	↓	54.3 \pm 12.1	38.2 \pm 28.8	83.6 \pm 28.1**
C1	1×10^{-4}	127.3 \pm 39.7	129.5 \pm 70.2	81.0 \pm 25.2
C2	↓	39.3 \pm 39.0	34.3 \pm 22.3	46.0 \pm 19.7
C3	↓	113.0 \pm 34.7	75.7 \pm 30.8	90.5 \pm 10.7
D1	1×10^{-5}	159.5 \pm 31.0	125.7 \pm 36.4	75.7 \pm 11.1
D2	↓	213.3 \pm 59.4*	83.7 \pm 30.5	70.7 \pm 30.8
D3	↓	164.5 \pm 30.2*	28.3 \pm 18.8	25.2 \pm 9.1

and NAYLOR, 1985; TABATA *et al.*, 1991) が最も多用されてきた。しかし、これらの方法では測定手段に光を用いるため、本研究の論旨からは望ましくない。本研究では光を用いない測定手法の一つとして吊り下げ法(森田他, 1983; 小池他, 1993)を採用した。吊り下げ法は従来、ウナギなど体型の細長い魚類の行動測定に使用されてきた。森田他(1983)はヤツメウナギを収容した直径10cm円筒形の筒を、4本のバネで吊り下げ、その一端をまとめて張力検出器につないで行動リズムを計測した。吊り下げ法は機械的な作動部分が少なく、長期間にわたり測定ができる。さらに、張力センサーとコンピュータを接続することでデータの連続記録、解析処理が簡便に行えることなどの利点もある。

行動の長期間にわたる測定において考慮せねばならない問題点として給餌、シェルターなどの巢の設置および排泄物の処理等が挙げられる。光電スイッチ法ではこれらは遮光の対象となり障害物になるが、本装置では海藻などの水中重量が軽い餌であれば給餌による影響は全くなく、シェルター等の巢もカゴに固定しておけば使用することができる。また、排泄物はカゴの編み目より下に落ちるため、行動範囲に堆積することはない。これらのことから、アワビのような匍匐生物の長期間にわたる行動の測定には、吊り下げ法による測定装置はきわめて有効な手段であるといえる。

本実験ではクロアワビの行動が顕著に抑制された明るさは $1 \times 10^{-3} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ 以上であった。 $1 \times 10^{-4} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ 以下の明るさでは行動頻度に変化がなかったことから判断すると、行動を抑制する明るさの閾値は両者の値の中間にあると考えられる。前報(森川他, 1993)において、屋外の自然光のもとでクロアワビがシェルターから出現したときの水中の明るさは $1 \times 10^{-3} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ 以下であること、シェルター外での匍匐行動が抑制されたときの明るさは $1 \times 10^{-4} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ 以上であることを報告した。これら屋外観察、室内実験の双方を比較すると、両者で得られた結果はほぼ一致する。

また、著者等は、イセエビ *Panulirus japonicus* の夜

間行動を抑制する明るさが $5.2 \times 10^{-3} \text{lux}$ 以上であることを報告した(小池他, 1993)。経験則*から照度 *lux* を光量子量に換算すると $5.2 \times 10^{-3} \text{lux}$ はおよそ $1.0 \times 10^{-4} \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ に相当し、イセエビの方が1/10ほど低い値となった。この原因は、光受容器の構造の差に起因しているのではないかと考えられる。

謝 辞

本文を取り纏めるにあたり、この研究の端緒を与えられ、終始変わらぬご教示を賜った農林水産省水産大学校長松生治博士に深謝の意を表します。実験に御助力いただいた東京水産大学坂田実験実習場小池康之主任ならびに同実習場の伊東順一、益子正和および石川尚仙技官諸氏に心から感謝申し上げます。実験材料の特別採捕においてご協力賜った館山市漁民組合および千葉大学理学部付属海洋生態研究センター小湊実験場の皆様に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 小池 隆, 森川由隆, 前川行幸, 森永 勤 (1993): イセエビの夜間行動におよぼす水中の明るさの影響。日水誌, **59**, 1689-1694.
- 森川由隆, 小池康之, 森永 勤 (1993): 自然光下における水中の明るさとクロアワビの夜間行動。うみ, **31**, 199-204.
- 森永 勤, 小池 隆, 大友啓一, 松生 治 (1988): 濁った水に対する海水魚の行動。うみ, **26**, 19-28.
- 森田之太, 田畑満生 (1983): ヤツメウナギの行動と松果体。「現代の行動生物学, 行動のリズムと学習」(久保田競, 堀田凱樹編), 産業図書, 東京, p.35-45.
- 永田 正, 宇野 寛, 篠田 厚 (1977): 匍匐性水産動物の運動経路の自記装置。うみ, **15**, 213-218.
- REID, D. G. and E. NAYLOR (1985): Free-running, endogenous semilunar rhythmicity in a marine isopod crustacean. *Journal marine biological Association of the U.K.*, **65**, 85-91.
- TABATA, M., M. MINH-NYO and M. OGURI (1991): The role of the eyes and the pineal organ in the circadian rhythmicity in the catfish *Silurus asotus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 607-612.

* LI-COR Inc./LI-COR Ltd.: Instruction Manual, P.7-8

海の表面波と基本流の相互作用について I*

松島 晟**・冨塚 明**・後藤 信行**・古賀 雅夫**

On the interaction between a surface wave and a basic current in the sea I*

Akira MATSUSHIMA**, Akira TOMIZUKA**, Nobuyuki GOTO** and Masao KOGA**

Abstract: In the framework of waves with small amplitudes present authors study on a non-linear interaction between a neutral surface wave (or a short wave) progressing horizontally and a basic lateral shear flow in a non-viscous fluid.

The following results are obtained.

- (i) For a wave progressing with a non-zero angular wave vector in a basic non-shear flow, or with a zero angular vector in a basic shear flow, any wave does not interact with the basic flow.
- (ii) For a wave progressing with a non-zero angular wave vector in a basic shear flow, there exist waves of two groups. Two kinds of waves in one group, either progressing in a positive direction or in a negative direction, interact with the basic flow and then increase in the amplitudes in a plane fairly away from the critical level.

1. 序 論

基本流と波動の非線形相互作用はいろいろと調べられている。とくに大気中における内部重力波が鉛直方向に伝わっているときの、水平方向の基本流との相互作用は HINES and REDDY (1967), BOOKER and BRETHERTON (1967) をはじめ、JONES (1967) などが調べている。ここでの重要な結論の1つは、波の水平方向の位相速度が、基本流の速度と一致する critical level では、波のエネルギーが基本流に吸収または放出される、ということである。これらについての総合報告は、田中 (1975) が「内部重力波の理論」で行っている。他のいろいろな文献はそこに書かれている。また海のなかの表面波と基本流の相互作用については、LONGUET-HIGGINS and STEWART (1961) がいろいろと取り扱って議論している。また鳥羽 (1978) が「海面付近の力学」でふれている。その中では主に、鉛直、水平方向の二次元で波による質

量輸送現象や Radiation1 stress について述べてある。これらのいろいろな文献も鳥羽の論文の中に掲げられている。

著者らは三次元空間において水平方向に伝播する表面波と水平方向に shear をもつ基本流の相互作用について微小振動の範囲内で調べてみた。粘性のない場合の、著者らの結論の1つは、外部重力波 (表面波) では、基本流の速さと、基本流が流れている方向の波の位相が一致する critical level では、波のエネルギーは吸収、または放出されずに、むしろ位相速度と基本流の速さが、かなり離れているところで吸収・放出が行われているということである。

記号

- x : 水平方向の座標軸
(x -coordinate normal to the basic flow on the sea surface)
- y : 水平方向の座標軸で、基本流の方向にとる
(y -coordinate parallel to the basic flow on the sea surface)
- z : 座標軸で鉛直上向きにとる
(z -coordinate directed upward)
- m : 波の鉛直方向の振幅の減衰係数

* 1995年10月13日受理 Received October 13, 1995

** 長崎大学教養部物理学教室 〒852 長崎市文教町 1-14

Department of Physics, Faculty of Liberal Arts, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki City, Nagasaki, 852 Japan

(damping factor showing the structure in the z -direction of a surface wave)

k_y : y 方向の波の角波数

(angular wave number in the y -direction)

ω : 波の角周波数

(angular wave frequency)

V : 基本流の y 成分で $V = \alpha x + V_0$

(basic flow. V_0 : constant component)

α : 基本流の shear

(a shear of basic flow)

M : $M = \sqrt{m^2 - k_y^2}$

Ω : $\Omega = \omega - k_y V_0$

ν : 動粘性係数

(the coefficient of kinematic viscosity)

u : 波の速度の x 成分

(x -component of the velocity following a wave)

v : 波の速度の y 成分

(y -component of the velocity following a wave)

w : 波の速度の z 成分

(z -component of the velocity following a wave)

p : 波による圧力

(pressure following a wave)

ρ : 液体の密度

(density of the fluid)

c_y : 波の y 方向の位相速度

(phase velocity in the y -direction of a wave)

2. 波と基本流との相互作用について

基本流 \vec{V} , 圧力 $P(z)$ のなかを表面波による disturbance が, 速度 $\vec{v} = (u, v, w)$, 圧力 p で進行しているものとする。ここで, 流体の密度を一定とし, それを ρ で表し, また座標軸は基本流 \vec{V} が流れる方向に y 軸を, y 軸に直交して, 水平方向に x 軸をとり, 鉛直上向きに z 軸をとる。また (x, y) 座標軸は海面上にとる。total current, total pressure はそれぞれ

$$\vec{v} = \vec{V} + \vec{v} \quad (1)$$

$$p' = P(z) + p \quad (2)$$

である。もちろん, ここで \vec{v} , p は波による perturbation である。

運動方程式系は

$$\frac{D\vec{v}'}{Dt} = -\text{grad} \frac{p'}{\rho} - g\vec{k} + \nu \nabla^2 \vec{v}' \quad (3)$$

$$\text{div} \vec{v}' = 0 \quad (4)$$

である。

ここで $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ はそれぞれ x, y, z 方向の単位ベクトルとする。

つぎに, y 方向に流れている基本流の成分を

$$V(x) = V_0 + \alpha x \quad (5)$$

とする。ただし, $\frac{D}{Dt} \equiv \frac{\partial}{\partial t} + v' \cdot \nabla$ は実質微分であり,

ν は動粘性係数で粘性係数 μ との間に $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ の関係がある。また α は基本流の shear である。

(3), (4) を線形化すると

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + V \frac{\partial}{\partial y} \right) \vec{v} + \alpha u \vec{j} = -\nabla \frac{p}{\rho} + \nu \nabla^2 \vec{v} \quad (3)'$$

$$\text{div} \vec{v} = 0 \quad (4)'$$

ここで (3)' の divergence をとり, (4)' を用いて

$$2\alpha \frac{\partial u}{\partial y} = -\nabla^2 \frac{p}{\rho} \quad (6)$$

となる。(3)' と (6) より

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + V \frac{\partial}{\partial y} \right) \nabla^2 \frac{p}{\rho} = 2\alpha \frac{\partial^2}{\partial y \partial x} \frac{p}{\rho} + \nu \nabla^4 \frac{p}{\rho} \quad (7)$$

となる。ここで海の深さが波長 λ に比べ, 非常に深い場合を考え, 近似解として次の形の波が進行しているものとする。

$$\frac{p}{\rho} = A(x) e^{ms} e^{i(\omega t - k_y y)} \quad (8)$$

ここで, $m > 0$ とする。すなわち $z \rightarrow -\infty$ で, $\frac{p}{\rho} \rightarrow 0$ の解を選んでいる。(7) より,

$$i(\omega - k_y V) \left\{ \frac{d^2 A}{dx^2} + (m^2 - k_y^2) A \right\} = -2\alpha i k_y \frac{dA}{dx} + \nu \left\{ \frac{d^4 A}{dx^4} + 2(m^2 - k_y^2) \frac{d^2 A}{dx^2} + (m^2 - k_y^2)^2 A \right\} \quad (9)$$

となる。

以下では粘性のない場合のみを考える。

この場合, $\frac{p}{\rho}$ は (8), (9) で与えられ, 速度は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} u &= \frac{i}{\omega - k_y V} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p}{\rho} \right) \\ v &= \frac{i}{\omega - k_y V} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p}{\rho} \right) - \frac{\alpha}{\omega - k_y V} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p}{\rho} \right) \\ w &= \frac{i}{\omega - k_y V} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{p}{\rho} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

(i) 基本流がない場合

このとき, $V_0 = 0$, $\alpha = 0$ なので

$$i\omega \left\{ \frac{d^2 A}{dx^2} + (m^2 - k_y^2) A \right\} = 0 \quad (11)$$

である。ここで

$$A(x) = A_0 e^{ik_x x} \quad (12)$$

と仮定すれば

$$m^2 = k_x^2 + k_y^2 \quad (13)$$

すなわち, 波の垂直構造を示す数 m と波数 k_x, k_y との関係を示している。波は, (8), (12), (13) で表される性質を示す。この場合は基本流が存在しないから, 座標軸 x, y は適当に選べる。そこで波の進行方向に x 軸をとれば $m^2 = k_x^2$ となる。

さらに海面での波面を $z = \zeta(x, y, t)$ で表せば kinematic boundary condition は

$$\left. \frac{D(P+p)}{Dt} \right|_{z=\zeta} = 0 \quad (14)$$

となる。これを線形化すると, $z = 0$ で近似して

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \right) \frac{p}{\rho} - wg = 0; z = 0 \quad (15)$$

となる。

仮に, $V = 0$ とすれば

$$\omega^2 = mg = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} g = kg \quad (16)$$

である。

波の phase velocity c は

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{k}{\frac{2\pi}{\omega}} = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{g}{k}} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \quad (17)$$

この式は frequency eq. である。ここで T, λ は波の周期と波長である。

(ii) 基本流に shear はあるが, 波の角波数ベクトルが δ の場合, すなわち $\alpha \neq 0, k_y = 0$ の場合

(9) より

$$\frac{d^2 A}{dx^2} + m^2 A = 0 \quad (18)$$

となり, (i) と全く本質的には同じになる。

(iii) shear はないが, 角波数ベクトルが δ でない場合, すなわち, この場合は $\alpha = 0, k_y \neq 0$ となる。

(9) より波の垂直構造と波数の関係は (i) の場合と全く同じである。基本流 V_0 が波の進行性に関係がないのは面白い。 A は三角関数型であり, wave type を示している。したがって波は振幅は一定のまま進行する。

(iv) shear があり, かつ角波数ベクトルが δ でない場合

(9) より

$$\frac{d^2 A}{dx^2} + \frac{2\alpha k_y}{\omega - k_y V} \frac{dA}{dx} + (m^2 - k_y^2) A = 0 \quad (19)$$

(3) を用いて

$$X = \sqrt{m^2 - k_y^2} \left\{ x - \frac{\omega/k_y + V_0}{\alpha} \right\} \quad (20)$$

と変数変換する。ここで $m^2 - k_y^2 < 0$ の場合は, すべての x の領域で x 方向に波は遮断領域となる。したがって, $m^2 - k_y^2 > 0$ の場合を考える。

$$\frac{d^2 A}{dX^2} - \frac{2}{X} \frac{dA}{dX} + A = 0 \quad (21)$$

ここで

$$A = XB \quad (22)$$

とおけば (21) より

$$\frac{d^2 B}{dX^2} + \left(1 - \frac{2}{X^2} \right) B = 0 \quad (23)$$

となる。ここで $|X|$ が小さい領域では

$$\frac{d^2 B}{dX^2} - \frac{2}{X^2} B = 0 \quad (24)$$

と近似される。

上式の解は波の解ではなく,

$$B \propto \frac{1}{X}, B \propto X^2 \quad (25)$$

または

$$A \propto \text{const}, A \propto X^3$$

となる。これは一見すると, 進行波の型ではない。また $|X| \gg 1$ の領域では (23) は

$$\frac{d^2 B}{dX^2} + B = 0$$

となり, B の解は

$$B \propto \begin{cases} \sin X \\ \cos X \end{cases} \text{ という三角関数型となり, また } A \text{ は}$$

$$A \propto \begin{cases} X \sin X \\ X \cos X \end{cases} \text{ という振幅の変化する波型を表す。}$$

また, ここで実際に $A = X^{3/2} C$ とおけば

$$\frac{d^2C}{dX^2} + \frac{1}{X} \frac{dC}{dX} + \left(1 - \frac{4}{X^2}\right) C = 0 \quad (26)$$

となる。したがって

$$C = J_{\pm 3/2}(X)$$

となる。ここで $J_{\pm 3/2}(X)$ は Bessel func. で

$$\begin{aligned} J_{+3/2}(X) &= \sqrt{\frac{2}{\pi X}} \left(\frac{\sin X}{X} - \cos X \right) \\ J_{-3/2}(X) &= \sqrt{\frac{2}{\pi X}} \left(\frac{\cos X}{X} + \sin X \right) \end{aligned} \quad (27)$$

である。

そこで A_1, A_2 を積分定数として、一般解は

$$C(X) = A_1 J_{+3/2}(X) + A_2 J_{-3/2}(X)$$

である。または次のようになる。

$$\begin{aligned} A(X) &= X^{3/2} \{A_1 J_{+3/2}(X) + A_2 J_{-3/2}(X)\} \\ &= \sqrt{\frac{2}{\pi}} \{A_1 \sin X - A_2 \cos X - X(A_1 \cos X \\ &\quad + A_2 \sin X)\} \end{aligned}$$

また ν 次の Hankel func. 表示では第 1 種、第 2 種 Hankel func. 関数を $H_\nu^{(1)}, H_\nu^{(2)}$ で表せば

$$H_\nu^{(1)}(X) = J_\nu(X) + iY_\nu(X)$$

$$H_\nu^{(2)}(X) = J_\nu(X) - iY_\nu(X)$$

となる。ここで Y_ν は ν 次の Bessel func. の Neumann 表示である。したがって、解は

$$\begin{aligned} H_{3/2}^{(1)}(X) &= J_{3/2}(X) + iJ_{-3/2}(X) \\ &= -\sqrt{\frac{2}{\pi X}} \left(i \frac{e^{iX}}{X} + e^{iX} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{3/2}^{(2)}(X) &= J_{3/2}(X) - iJ_{-3/2}(X) \\ &= -\sqrt{\frac{2}{\pi X}} \left(-i \frac{e^{-iX}}{X} + e^{-iX} \right) \end{aligned}$$

である。

$H^{(1)}$ 関数は X 方向に関して負方向の進行波を、 $H^{(2)}$ 関数は正方向の進行波を表す。一般解は B_1, B_2 を積分定数として

$$\begin{aligned} A(X) &= X^{3/2} \{B_1 H_{3/2}^{(1)}(X) + B_2 H_{3/2}^{(2)}(X)\} \\ &= -\sqrt{\frac{2}{\pi}} \{B_1 e^{i(X+\pi/2)} + B_2 e^{-i(X+\pi/2)} \\ &\quad + X(B_1 e^{iX} + B_2 e^{-iX})\} \end{aligned} \quad (28)$$

である。ここで変数 X から x に戻すと、Hankel 表示で、

$$A(x) = -\sqrt{\frac{2}{\pi}} R(B_1 e^{i\theta} + B_2 e^{-i\theta}) \quad (29)$$

とおける。ここで

$$R = \sqrt{1 + M^2(x - \Omega/ak_v)^2} \quad (30)$$

$$\delta = Mx - M\Omega/ak_v + \theta \quad \text{ただし,}$$

$\tan \theta = 1 / \{M(x - \Omega/ak_v)\}$ であり、さらに

$$M = \sqrt{m^2 - k_v^2}, \quad \Omega = \omega - k_v V_0$$

で定義される。

$J_{3/2}(X)$ と $J_{-3/2}(X)$, または $H_{3/2}^{(1)}(X)$ と $H_{3/2}^{(2)}(X)$ は互いに独立な関数であるから、 $A_1=0, A_2=0$, または $B_1=0, B_2=0$ 以外には $A(X)=0$ の解はない。

そこで $A(X)$ の X の正方向に進行する波も、また負方向に進行する波もそれぞれ 2 つの波から成り立っていると解釈できる。1 つは振幅が一定な波と、もう 1 つは振幅が X によって変化する波から成り立っている。すなわち $|X| \ll 1$ の領域では、あるいは critical level ($\omega/k_v - V=0$, または $c_v=V$) の近傍では、 J_ν 表示では

$$A(X) \approx A_1 \sin X - A_2 \cos X$$

また、Hankel 表示では

$$A(X) \approx B_1 e^{i(X+\pi/2)} + B_2 e^{-i(X+\pi/2)} \quad (31)$$

となる。したがって、この領域では波の振幅は一定となり、エネルギー的にみれば、この領域では波と基本流の相互作用はほとんどない。すなわち、波と基本流は互いにエネルギーの吸収、放出はない。

また $|X| \gg 1$ の領域、または $|V - c_v| \gg |\alpha| / \sqrt{m^2 - k_v^2}$ が成り立つ領域では、

$$A(X) \approx -X(A_1 \cos X + A_2 \sin X)$$

または

$$A(X) \approx -X(B_1 e^{iX} + B_2 e^{-iX}) \quad (32)$$

となる。この領域は X の正方向に前進する波も、負方向に進む波も、波の振幅は増大する。したがって、この領域では波は基本流からエネルギーを吸収していると考えられる。また (29), (30) から R が増大することがわかる。

3. 結論

この論文では、粘性がない場合について、水平 shear

のある基本流と海の表面付近に水平に基本流方向に伝わる外部重力波（表面波）との非線形相互作用について、微小振幅の理論の範囲内で調べた。その結果は以下の通りである。

- (i) 基本流に shear があるが、波の角波数ベクトルが 0 の場合、波の振幅は一定となり、波と基本流の非線形相互作用はない。
- (ii) 基本流はあるが、shear がなく、かつ角波数ベクトルが 0 でない場合にも非線形相互作用はない。
- (iii) shear があり、かつ、角波数ベクトルが 0 でない場合には、波は振幅が一定の波と振幅が場所によって増加する 2 種類の波から成り立っている。さらに基本流が流れる方向の波の位相速度が基本流の速度と一致する critical level の付近では、後者の波も振幅が一定となり、波と基本流との相互作用はない。しかし critical level からかなり離れた所では、振幅が変化する波の成分の寄与も大きくなり、波と基本流の相互作用は大いにあると考えられる。

文 献

- BOOKER, J. R. and F. P. BRETHERTON (1967): The critical layer for internal gravity waves in a shear flow. *J. Fluid Mech.*, **27**, p. 513.
- HINES, C. O. and A. REDDY (1967): On the propagation of atmospheric gravity waves through region of wind shear. *J. Geophys. Res.*, **72**, p. 1015.
- JONES, W. L. (1967): Propagation of internal gravity waves in fluids with shear flow and rotation. *J. Fluid Mech.*, **30**, p. 439.
- LONGUET-HIGGINS M. S. and R. W. STEWART (1961): The change in amplitude of short gravity waves on steady non-uniform current. *J. Fluid Mech.* **10**, p. 529.
- 田中 浩 (1975) : 大気中の内部重力波, 内部重力波の理論, 126号, 気象研究ノート, 日本気象学会.
- 鳥羽良明 (1978) : 海洋力学, 第2章 海面付近の力学, 135号, 気象研究ノート, 日本気象学会.

海の表面波と基本流の相互作用について II *

～粘性のある場合～*

松島 晟**・富塚 明**・古賀 雅夫**・後藤 信行**

On the interaction between a surface wave and a basic current in the sea II *

Akira MATSUSHIMA**, Akira TOMIZUKA**, Masao KOGA** and Nobuyuki GOTO**

Abstract: Present authors study the effect of viscosity on a non-linear interaction between a basic lateral shear flow and a neutral surface wave (or a short wave) progressing on the surface of the sea in the direction parallel to the basic flow (the direction of which is taken as a y -coordinate).

The following results are obtained.

(i) For a wave progressing with a non-zero angular wave vector in a basic non-shear flow, or with a zero angular vector in a basic shear flow, there exist two groups of waves.

One group is named as a quasi outer gravity wave mode and the other named as a viscous outer gravity mode in the present paper and each group does not interact with its own basic flow. A quasi outer gravity wave is almost not influenced by viscosity, and therefore even in a viscous fluid behaves almost same as a gravity wave inviscid and non-basic flow. On the otherhand, a viscous outer gravity wave appears due to the existance of viscosity and may progress in a positive or negative x -direction with decreasing the amplitude, spatially.

(ii) For a wave progressing with a non-zero angular wave vector in a basic shear flow, there also exist two groups of waves corresponding to a quasi and viscous outer gravity wave mode.

Waves corresponding to a quasi outer gravity wave mode consist of two kinds of waves and are influenced only by the interaction. If $\alpha k_y / \Omega > 0$ (where α , k_y and Ω are a shear, the y -component of angular wave vector, and a Doppler angular frequency, respectively), one kind may progress in a positive x -direction with increasing amplitude and the other in a negative x -direction with decreasing amplitude and vice versa.

Waves corresponding to a viscous outer gravity wave mode are basically the same as viscous outer gravity waves mentioned in (i) and the effect of the interaction is furthermore added to the results obtained in (i). As a result there appears a new possibility that the amplitude of a wave may increase in some case.

(iii) In the special case where a damping factor showing the vertical structure of a wave m is almost equal to k_y , there exist three kinds of waves influenced by both the interaction and viscosity, if $|\Omega|^3 \ll \nu \alpha^2 k_y^2$ where Ω , ν and α are Doppler angular frequency, the coefficient of kinematic viscosity and a shear, respectively. For example, if $\alpha k_y > 0$, one of three kinds may progress in a positive x -direction keeping the amplitude constant and the rest in a negative direction with either increasing or decreasing amplitude.

1. 緒言

著者たちは前論文(松島 他, 1995)で水平方向に伝播する表面波と水平方向に shear を持つ基本流との非線形相互作用を, 粘性のない流体で調べた。ここではさらに相互作用における粘性の効果を調べる。粘性の効果については内部重力波の鉛直伝播について HAZEL

* 1995年10月13日受理, Received October 13, 1995

** 長崎大学教養部物理学教室 〒852長崎市文教町1-14
Department of Physics, Faculty of Liberal Arts, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki City, Nagasaki, 852 Japan

(1967) も議論している。その中での結論の1つに、内部重力波の鉛直伝播では相互作用における粘性の効果は critical level では特に強いということである。著者たちの得た結論の1つでは、表面波(外部重力波)では相互作用における粘性の効果も、むしろ critical level ではあまり効かないということである。

記号

- x : 水平方向の座標軸
(x-coordinate normal to the basic flow on the sea surface)
- y : 水平方向の座標軸で、基本流の方向にとる
(y-coordinate parallel to the basic flow on the sea surface)
- z : 座標軸で鉛直上向きにとる
(z-coordinate directed upward)
- m : 波の鉛直方向の振幅の減衰係数
(damping factor showing the structure in the z-direction of a surface wave)
- k_y : y 方向の波の角波数
(angular wave number in the y-direction)
- ω : 波の角周波数
(angular wave frequency)
- V : 基本流の y 成分で $V = \alpha x + V_0$
(basic flow. V_0 ; constant component)
- α : 基本流の shear
(a shear of basic flow)
- M : $M = \sqrt{m^2 - k_y^2}$
- Ω : $\Omega = \omega - k_y V_0$
- ν : 動粘性係数
(the coefficient of kinematic viscosity)
- u : 波の速度の x 成分
(x-component of the velocity following a wave)
- v : 波の速度の y 成分
(y-component of the velocity following a wave)
- w : 波の速度の z 成分
(z-component of the velocity following a wave)
- p : 波による圧力
(pressure following a wave)
- ρ : 液体の密度
(density of the fluid)

c_y : 波の y 方向の位相速度

(phase velocity in the y-direction of a wave)

2. 表面波と基本流との相互作用における粘性の効果について

粘性がある場合、時間がたつと粘性の効果により、波のエネルギーは失われていく。しかし、波が数波長通過する時間間隔では、このエネルギー消失はあまり大きくはないであろう。したがって表面波を時間的には中立波として取り扱うことにする。

さて、表面波と基本流の相互作用を表す場合であるが、著者たちの前の論文(松島他, 1995)の(9)から、

$$i(\omega - k_y V) \left\{ \frac{d^2 A}{dx^2} + (m^2 - k_y^2) A \right\} = -2\alpha i k_y \frac{dA}{dx} + \nu \left\{ \frac{d^4 A}{dx^4} + 2(m^2 - k_y^2) \frac{d^2 A}{dx^2} + (m^2 - k_y^2)^2 A \right\} \quad (1)$$

また $A(x)$ は次式で定義されている。

$$\frac{p}{\rho} = A(x) e^{mz} e^{i(\omega t - k_y y)} \quad (2)$$

(2) では $m > 0$ とし、 m は $z \rightarrow -\infty$ で、 $\frac{p}{\rho} \rightarrow 0$ になるように選んである。ここでは著者たちは y 方向に進む波を取り扱う。

われわれは次の3つの場合について調べる。

- (i) 基本流に shear があり、波の角波数ベクトルが 0 の場合
- (ii) shear はないが、波の角波数ベクトルが 0 でない場合
- (iii) shear があり、波の角波数ベクトルが 0 でない場合。この場合は数学的に簡単にするために、shear も一定、基本流も $V = \text{一定} = V_0$ とする。これらの場合は $A(x) \propto e^{-iKx}$ とおくと、(1) から、
- $$i\Omega(-K^2 + M^2) = -2\alpha k_y K + \nu(K^4 - 2M^2 K^2 + M^4) \quad (3)$$
- となる。

ここで Ω , M については、(i), (ii), (iii) でそれぞれ定義する。 K は求める根である。

(i) の場合は $\alpha \neq 0$, $k_y = 0$ であり、 $M = m$, $\Omega = \omega$ である。

(ii) の場合は $\alpha = 0$, $k_y \neq 0$ であり、 $M = \sqrt{m^2 - k_y^2}$, $\Omega = \omega - k_y V_0$ である。

(iii) の場合は $\alpha \neq 0$, $k_y \neq 0$ で $V = V_0 = \text{一定}$ で、

$$M = \sqrt{m^2 - k_y^2}, \quad \Omega = \omega - k_y V_0 \text{ である。}$$

さらに (i), (ii) の場合では上式は

$$(K^2 - M^2) \{ \nu(K^2 - M^2) + i\Omega \} = 0 \quad (4)$$

となる。1つの K^2 の根は $K^2 = M^2$ である。

ここで波と基本流の相互作用は主に2つに分けて考えることができる。そのうちの1つの効果は Doppler shift の効果であり、角周波数 ω を Doppler 角周波数 $\Omega (= \omega - k_y V_0)$ に変える。いま1つは項 ak_y に比例した形で効いてくる効果である。以降において著者たちは Doppler shift の効果はいちいち述べないことにする。

さて、(i), (ii) の場合のこの K の解には相互作用の効果と粘性の効果は全くない。この種の波を準外部重力波モードと呼ぶ。

次に、他の K の根は(4)より

$$K^2 - M^2 = -i\Omega/\nu \quad (5)$$

と求められる。

(5) で表される波は粘性と重力に起因する波である。著者たちはこの種の波を粘性外部重力波モードと名づける。もちろん、この種の波は粘性がなければ存在しないことは(3)から明らかである。

ここで粘性の効果を概観すれば、まず、粘性外部重力波が新たに現れる。さらに、仮に粘性が非常に大きな場合には(3)から $\nu(K^2 - M^2)^2 = 0$ となり、 K^2 の解は粘性がない場合の外部重力波と同一になる。もちろん、この場合には中立波近似は成り立たなくなるであろう。すなわち、粘性の x の正方向の波数 K に対する効果はもちろん粘性が0でも効かないし、また非常に大きくても効かないということである。

さて(5)より、 $K = \sqrt{M^2 - i\Omega/\nu} = k_x + i\mu$ とおく。ただし k_x, μ は実数とする。また、 $K = -\sqrt{M^2 - i\Omega/\nu}$ の場合も全く同じように議論できる。それぞれ μ と k_x は以下の通りである。

$$k_x = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{M^2 + (M^4 + \Omega^2/\nu^2)^{1/2}} \quad (6)$$

$$\mu = \mp \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\Omega}{\nu} / \sqrt{M^2 + (M^4 + \Omega^2/\nu^2)^{1/2}}$$

μ と k_x の符号は同順で、また k_x の上下の符号は K の正負の符号に対応しているとする。

すなわち、粘性外部重力波モードでは $k_x > 0$ のとき $\mu < 0$ となり、また $k_x < 0$ のとき $\mu > 0$ となる。いいかえれば、 $k_x > 0$ のときは、波が x の正方向に進行する場合で $\mu < 0$ 、すなわち波の振幅は減少する。また、 $k_x < 0$ のときは波が負の方向に進行していて、やはり振幅は減少することを意味する。

(i), (ii) の場合、いずれの場合も(5)の解は粘性により、波の振幅が場所的に減少して行くことを示している。

とくに(ii)の場合には波の基本流方向の位相速度成分が、基本流の速度とほとんど一致するような波に対してはcriticalな条件となる。このような近傍では

$$k_x^2 \approx (m^2 - k_y^2) + \frac{(\omega - k_y V_0)^2}{4\nu^2(m^2 - k_y^2)}$$

となる。また

$$\mu^2 \approx \frac{(\omega - k_y V_0)^2}{4\nu^2(m^2 - k_y^2)}$$

となる。したがって、 $(\omega - k_y V_0)^2$ と $\nu^2(m^2 - k_y^2)$ の兼ねあいで粘性の効き方がきまる。critical layerでは、

$$k_x^2 = m^2 - k_y^2, \mu = 0$$

となり、粘性は効かない。

とくに $M^4 \gg \Omega^2/\nu^2$ の場合には

$$k_x = \pm M$$

$$\mu = \mp \frac{\Omega}{2M\nu}$$

粘性が大きいと $k_x = \pm M, \mu \approx 0$ となり、大きな粘性の効果は、この解にあまり効かない。

$M^4 \ll \Omega^2/\nu^2$ の場合には

$$k_x = \pm \sqrt{(M^2 + \Omega/\nu)/2} \approx \pm \sqrt{\frac{\Omega}{2\nu}}$$

$$\mu = \mp \sqrt{\frac{\Omega}{2\nu}}$$

この場合、 $k_x = -\mu$ となり、この解は小さい粘性が大いに効いてくる。したがって、この解でも大きな粘性はあまり効かなく、小さな粘性は大いに効果を及ぼす。また

x 方向の角波数は $\sqrt{\frac{\Omega}{2\nu}}$ である。

そこで(i), (ii)の一般解は、

$$A(x) = A_1 e^{-iK_1 x} + A_2 e^{iK_1 x} + A_3 e^{-i(K_2 + \mu_2)x} + A_4 e^{i(K_2 + \mu_2)x}$$

である。ただし、

$$K_1 = M \quad \text{: 準外部重力波}$$

$$K_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{M^2 + (M^4 + \Omega^2/\nu^2)^{1/2}}$$

$$\mu_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\Omega}{\nu} / \sqrt{M^2 + (M^4 + \Omega^2/\nu^2)^{1/2}} \quad \text{: 粘性外部重力波}$$

つぎに(iii)の場合について調べる。

粘性 $\nu=0$ の場合にはすでに前の論文で正確に調べられた。ここでは $V=V_0$ 一定としながら、shearも取り入

れている。すなわち、 $\nu=0$ では(3)から

$$K^2 + 2iak_y K / \Omega - M^2 = 0 \quad (7)$$

で、根は

$$K = \pm \sqrt{M^2 - \alpha^2 k_y^2 / \Omega^2} - iak_y / \Omega \quad (8)$$

である。この場合の一般解は

$$A(x) = e^{-\alpha k_y x / \Omega} (A_1 e^{i\epsilon x} + A_2 e^{-i\epsilon x}) \quad (9)$$

となる。ただし $\epsilon = \sqrt{M^2 - \alpha^2 k_y^2 / \Omega^2}$ とする。

$$M^2 > \alpha^2 k_y^2 / \Omega^2, \quad \text{すなわち, } m^2 - k_y^2 > \frac{\alpha^2 k_y^2}{(\omega - k_y V_0)^2}$$

の場合には、(8)は shear によって x 方向の波数が modify された波で、振幅も変化する。すなわち、 $\alpha k_y / \Omega > 0$ では、1つの波は x の正方向に進行し、振幅は減少する。いま1つの波は負の方向に進み、振幅は増大する。 $\alpha k_y / \Omega < 0$ では1つの波は x の正の方向に進み、振幅は増大し、いま1つの波は負の方向に進み、振幅は減少する。

$M^2 < \alpha^2 k_y^2 / \Omega^2$ の場合には、波の解は存在できなく、しみわたる解のみである。すなわち、波は x 方向に進行できない。

この (iii) の場合は $\alpha = \text{一定}$ 、 $V = \text{一定}$ の近似を用いているが、われわれは前の論文の 2-(iv) で V が x の一次関数である場合を厳密に解いている。

(9) と前の論文の 2-(iv) を比較すると、三角関数を指数で表現している部分も、その他の部分も大きく異なってみえる。1つの違いは、少なくとも前の論文では前進する波も、後退する波も、振幅は増大すること、またどのような場合にも伝播する波は存在する。また位相も変化する。しかし、これらの解の2つの結果を比較することによって、どのような場合に近似がよく成り立つかがわかる。

さて、本題に戻って、粘性がある場合であるが、まず準外部重力波の場合を調べる。準外部重力波の解である $K^2 - M^2 = 0$ を用いると(3)から

$$K^2 + 2iak_y K / \Omega - M^2 = 0 \quad (10)$$

となる、この式は(3)で粘性 $\nu = 0$ とした式、すなわち(7)と完全に一致する。したがって、準外部重力波では、この程度の近似では粘性の効果は全く効かない。(10)は準外部重力波に相互作用の効果が入った式である。

つぎに粘性外部重力波の場合を調べる。この場合に対

する解(5)を用いて(3)を近似すると

$$K^2 + 2iak_y K / \Omega - M^2 + i\Omega / \nu = 0 \quad (11)$$

となる。(11)は粘性外部重力波に相互作用の効果が入った式である。

(10)については(7)と同じになり、すでに調べられているので検討は省略する。粘性外部重力波については(11)から K の値は

$$K = \pm \sqrt{M^2 - \alpha^2 k_y^2 / \Omega^2 - i\Omega / \nu} - iak_y / \Omega$$

となる。

$$M^2 \gg \alpha^2 k_y^2 / \Omega^2 \quad (12)$$

のばあいには

$$K \approx \pm \sqrt{M^2 - i\Omega / \nu} - iak_y / \Omega$$

となる。上式の前項は(5)で調べられている。その結果から

$$K \text{ の実部} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{M^2 + (M^4 + \Omega^2 / \nu^2)^{1/2}} = \pm K_2 \quad (13)$$

$$\begin{aligned} K \text{ の虚部} &= -\alpha k_y / \Omega \mp \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\Omega}{\nu} / \sqrt{M^2 + (M^4 + \Omega^2 / \nu^2)^{1/2}} \\ &= -\alpha k_y / \Omega \mp \mu_2 \end{aligned}$$

である。

この場合、波の x 方向の波数には相互作用は効くが、振幅には、波長よりとくに効く。

$\Omega^2 / \nu^2 \ll M^4$ の場合、すなわち $|\Omega / \nu| \ll M^2$ かつ $M^2 \gg \alpha^2 k_y^2 / \Omega^2$ の場合は M を正として

$$K \text{ の実部} = \pm M$$

$$K \text{ の虚部} = -\frac{\alpha k_y}{\Omega} \mp \frac{\Omega}{2M\nu}$$

となる。

$|\Omega / \nu| \gg M^2 \gg \alpha^2 k_y^2 / \Omega^2$ の場合には

$$\begin{aligned} K \text{ の実部} &= \pm \sqrt{\frac{\Omega}{2\nu}}; \quad \Omega > 0 \text{ の場合} \\ &= \pm \sqrt{\frac{-\Omega}{2\nu}}; \quad \Omega < 0 \quad " \end{aligned}$$

$$K \text{ の虚部} = -\frac{\alpha k_y}{\Omega} \mp \sqrt{\frac{\Omega}{2\nu}}; \quad \Omega > 0 \text{ の場合}$$

$$= -\frac{\alpha k_y}{\Omega} \pm \sqrt{\frac{-\Omega}{2\nu}}; \quad \Omega < 0 \quad " \quad (13)'$$

となる。

これから2つの波もやはり大きな粘性は効かないが、小さい粘性に効く解である。基本的には (i), (ii) の

場合と似ている。(i), (ii) と異なるのは, (i), (ii) の結果にさらに波と基本流の相互作用の効果が加わることである。したがって相互作用と粘性の効果の兼ねあいで, 振幅の増大, 減少が定まる。すなわち (13) から $ak_y/\Omega > 0$ とすると $ak_y/\Omega > \mu_2$ の場合には, x の負の方向に行く波は, 相互作用の効果により, (i), (ii) と違って逆に振幅が増加する。また $ak_y/\Omega < \mu_2$ の場合には, x の負の方向に進む波は, やはり振幅は減少する。 x の正方向に進む波では, いずれの場合も振幅は減少する。ただ減衰の割合が激しくなる。また $ak_y/\Omega < 0$ の場合には x の正方向に進む波は $|ak_y/\Omega| > \mu_2$ では, 逆に振幅が増加し, $|ak_y/\Omega| < \mu_2$ で振幅は減衰する。 x の負の方向に進む波では, いずれの場合も振幅は減少するが, 減衰の割合は激しくなる。また, この場合では critical level では条件 (12) を満足しないであろう。

次に,

$$M = \sqrt{m^2 - k_y^2} \quad (14)$$

がとくに小さい場合を調べる。とくにここでは $M = 0$ としよう。先に進む前に $M = 0$ でのいままでの結果をまとめておく。

粘性のない場合は, 前の論文より, 波の型の解は存在しない。すなわち x 方向には波は伝播しない。

粘性がある場合についてはこの論文の (i), (ii) の場合, (6) から振幅が変化して伝播する波が存在する。

さて (iii) の場合であるが, 準外部重力波に対する近似式 (10) もまた, 粘性外部重力波に対する近似式 (11) も近似が良くない場合もあるので (3) をもとに議論を進める。

(3) から

$$K \left(K^3 + \frac{i\Omega}{\nu} K - \frac{2ak_y}{\nu} \right) = 0 \quad (15)$$

となる。さらに

$$\left| \frac{\Omega}{\nu} \right|^3 \ll \left| \frac{2ak_y}{\nu} \right|^2 \quad (16)$$

の条件の場合には

$$K^3 - \frac{2ak_y}{\nu} = 0 \quad (17)$$

となる。ここで

$$\gamma = \left(\frac{2ak_y}{\nu} \right)^{1/3}$$

とおくと (17) の根は

$$K = \gamma, \gamma\beta, \gamma\beta^2$$

である。ただし, $\beta^3 = 1$ で

$$\beta = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}, \beta^2 = \frac{-1 - \sqrt{3}i}{2}$$

である。またこの根で調べると, 条件 (16) を満足していることがわかる。これらの波には粘性と相互作用がよく効いている。

さらに, $ak_y > 0$ の場合は, $\gamma > 0$ となり, 根 γ は振幅は変化しない, 正の方向に進む波を表す。他の根, $\gamma\beta, \gamma\beta^2$ は共に x の負の方向に進み, 前の根は振幅が減衰する解を, 後の解は増大する解をそれぞれ表す。これら 3 つの根の場合, x 方向の波の角波数は M が 0 であるから, $\left(\frac{2ak_y}{\nu} \right)^{1/3}$ またはこれらの半分である。

また critical level で特別に波のエネルギーの吸収, 放出があるわけではない。 $ak_y < 0$ の場合は振幅が一定の波は x の負の方向に進み, 残り 2 つの波は共に x の正の方向に進み, 1 つは振幅が増加し, 1 つは減衰する。

次に,

$$\left| \frac{\Omega}{\nu} \right|^3 \gg \left| \frac{2ak_y}{\nu} \right|^2 \quad (18)$$

の場合には (5) は

$$K \left(K^2 + \frac{i\Omega}{\nu} \right) = 0$$

となる。 $\Omega > 0$ とすれば, この根は $K = 0$ の他に

$$K = \sqrt{\frac{\Omega}{\nu}} e^{-i\pi/4} = \sqrt{\frac{\Omega}{\nu}} \frac{(1-i)}{\sqrt{2}} \quad (19)$$

$$K = \sqrt{\frac{\Omega}{\nu}} e^{-3i\pi/4} = \sqrt{\frac{\Omega}{\nu}} \frac{(-1+i)}{\sqrt{2}} \quad (20)$$

である。この場合の波の角波数は $\sqrt{\frac{\Omega}{2\nu}}$ である。

(19) の根は波が x の正の方向に進み, 振幅は減衰する解であり, (20) の根は x の負の方向に進んで, やはり振幅が減衰する解を表す。この根で調べると条件 (18) を満足することがわかる。しかし, 条件 (14) は現実には M が非常に小さくないと満足しないであろう。

最後に $\Omega < 0$ では, K の根は

$$K = \sqrt{\frac{-\Omega}{\nu}} \frac{(1+i)}{\sqrt{2}}, -\sqrt{\frac{-\Omega}{\nu}} \frac{(1+i)}{\sqrt{2}} \quad (21)$$

となる。前者の根は, x の正の方向に進行して, 振幅が増大し, 後者の根は x の負の方向に進行して, 振幅が増大する解である。 $\Omega = \omega - k_y V_0 = k_y (c_y - V_0) < 0$ の場合, すなわち, $k_y > 0$ とし, 波の y 方向の位相速度が, 基本流 V_0 より遅い場合, なおかつ, $m^2 - k_y^2 \approx 0$ を満足する場合は, 基本流のエネルギーが波のエネルギーに変

わると考えられる。また (19), (20), (21) は (13)' すなわち、粘性外部重力波に対する式からも出てくる。

3. 結 論

この論文では、水平にshearのある基本流と海の表面付近を水平に伝わる外部重力波（表面波）との非線形相互作用について、粘性の効果をとくに調べた。その結果は以下の通りである。

(i) shear がないか、shear があっても波の角波数ベクトルが 0 の場合

この場合には 4 種類の波が存在し、(a) そのうち 2 つの波は x の負の方向に進行し、振幅の変化はなく、波と基本流は相互作用を行わない。このモードを準外部重力波モードと呼ぶ。(b) 残りの 1 つの波は x の正の方向に進む波で、いま 1 つは負の方向に進む波であり、共に振幅は減衰する。すなわち、これら 2 つの波は、波のエネルギーを基本流または、熱運動に吸収されると考えられる。しかも粘性が大いに効いている。このモードを粘性外部重力波モードと呼ぶ。

(ii) shear があり、波の角波数ベクトルが 0 でない場合 次の 2 つの場合を調べた。

(A) まず相互作用がない粘性流体の運動を基礎として、波と基本流の相互作用を取り入れて調べた。つぎに (B) 波の鉛直構造を示す減衰因子 m と基本流方向の波の角波数 k_y がほとんど等しい場合について調べた。

(A) の場合：4 つの波が存在する。そのうち 2 つの波は準外部重力波モードに対応し、残りの 2 つは粘性外部重力波モードに対応した波である。

(a) 準外部重力波モードに対応した波は粘性が全くない場合と同じで、shear によって x 方向の波数が modify され、振幅も変化する。例えば進行方向と振幅について考えてみる。

$M^2 > \alpha^2 k_y^2 / \Omega^2$ の場合について、 $\alpha k_y / \Omega > 0$ では 1 つの波は x の正の方向に進み、振幅は減衰する。またいま 1 つの波は x の負の方向に進み、振幅も増加する。 $\alpha k_y / \Omega < 0$ では、1 つは x の正の方向に進み、振幅が増大する。いま 1 つは負の方向に進み、振幅は減衰する。また $M^2 < \alpha^2 k_y^2 / \Omega^2$ の場合には波の解は存在しない。

(b) 粘性外部重力波モードに対応した波は x 方

向の波数にも振幅にも波と基本流の相互作用も粘性も効く。とくに相互作用の効果は波数より振幅に効く。基本的には (i) - (b) と同じである。ただ、(i) - (b) と異なるのは、とくに振幅に相互作用の効果が加わることである。すなわち、振幅の増大・減少因子に $-\alpha k_y / \Omega$ が新しく現れる。したがって、例えば、 $\alpha k_y / \Omega > 0$ の場合には、 x の負の方向に進む波には、新たに振幅が増加する波の出現する可能性が生じ、同じく $\alpha k_y / \Omega < 0$ の場合には x の正方向に進む波に、振幅が増大する波の出現もあり得ることになる。

(B) の場合：とくに $m^2 - k_y^2 = 0$ の場合を調べた。 $|\Omega|^3 \ll \nu \alpha^2 k_y^2$ の場合には 3 種類の波が存在する。この場合、 $m^2 = k_y^2$ に注意するとこれらの波の x 方向の角波数は、 $\left(\frac{2\alpha k_y}{\nu}\right)^{1/3}$ またはこれの半分である。これらの波には相互作用と粘性が共に効いている。

例えば $\alpha k_y > 0$ の場合では、(a) 1 つの波は x の正の方向に進行して、振幅は一定である。(b) 残りの 2 つは共に x の負の方向に進行し、1 つは振幅が増大し、今 1 つは振幅が減衰する波である。

$\alpha k_y < 0$ の場合では、振幅が一定の波は x の負の方向に進み、残りの 2 つの波は共に x の正の方向に進み、1 つは振幅が増加し、1 つは減衰する。

$|\Omega|^3 \gg \nu \alpha^2 k_y^2$ の場合には、2 つの波が存在する。これらの波は粘性外部重力波に由来する波であり、 x 方向の角波数は $\sqrt{\frac{\Omega}{2\nu}}$ である。例えば $\Omega > 0$ とすれば、1 つは x の正の方向に進み、いま 1 つは x の負の方向に進行して共に振幅が減衰する波である。また $\Omega < 0$ では、1 つは x の正の方向に、1 つは x の負の方向に進んで、共に振幅が増大する波である。

最後に、表面波ではすべての場合で critical level の近傍でとくに波と基本流が相互作用を行うとは思えない。

文 献

- HAZEL, P. (1967): The effect of viscosity and heat conduction on internal gravity waves at a critical level, *J. Fluid Mech.*, 30, p.775.
 松島 晟, 富塚 明, 後藤信行, 古賀雅夫 (1995): "海面波と基本流との相互作用について I", *La mer*, 33, 221-225.

資料

海面状態による衛星赤外画像上にみられる
見かけの海面水温上昇*

中村重久**

Sea state in relation to apparent high sea surface temperature
in the satellite infrared imagery*

Shigehisa NAKAMURA**

Abstract: Apparent high temperature of the sea surface observed in the infrared imagery of the NOAA satellites is studied in relation to sea state and/or sea surface waves. First, a conceptual model is introduced which suggests that the solar beam and the radiation on the sea surface could concentrate just neighbor the infrared sensor mounted on the satellites if the sea state is agitated and wave facets could be mirrors reflecting the solar beam to form a focus just neighbor the satellite. Considering the pixel size of the satellite thermal imagery, no possibility is for application of Cox-Munk's statistical theory in this case. A synoptic view is more appropriate for the model. Examples of the satellite infrared imageries are introduced for realizing the model is reasonable at understanding what informing the thermal imageries.

1. 緒言

人工衛星によって得られる赤外画像は、海面温度分布のモニタリングにひろく利用されている。超高解像度のAVHRR画像を利用した研究成果は、すでに多数にのぼり、ここで紹介するいとまがない程である。

一方で、人工衛星赤外画像のAPT（自動画像変換）を、実時間受信をパーソナル・コンピュータを用いて実行し、その画像の実用性も研究されている（たとえば、NAKAMURA, 1990, 1992, 1993a, 1993b）。

本文では、人工衛星NOAAの赤外画像（APTによる）を利用して、局所的海面温度の異常な上昇が、海面状態とくに海面波と関連があることについて、その要点を述べる。

2. 海面状態

はじめに、海面は平坦で、海面温度は海という黒体からの放射によって定まるものとする（正確には、灰体の放射と言うべきであるが、ここでは本質的なことではない）。この場合、単純な太陽光の海面反射があるかどうかのみを考えればよい。基本的には、たとえばSTEWART（1984）や日本リモートセンシング研究会編（1996）に記述されていることにしたがって考えればよい。

しかし、実在の海面は必ずしも平坦ではない。人工衛星から視るかぎり、地球の表面（近似的に球面）の一部である。

ここで、たとえば13時 JST 頃の人工衛星の可視画像を、本州南端付近の受信局で得たとすると、東シナ海に南北に長い楕円型の sun glitter が認められることがある。これは、かつて COX and MUNK (1954) が、航空機から見下した、海面の波群からの太陽光の散乱状態の写真を統計理論によって解析しようとした例と基本的に同等である。異なるのは、航空機が人工衛星であり、その高度が互に異なることである。さらに、航空機からの写真

* 1995年6月15日受理 Received June 15, 1995

** 京都大学防災研究所附属白浜海象観測所, 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田2347-7

Shirahama Oceanographic Observatory, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Katada-Hatasaki, Shirahama, Wakayama, 649-22 Japan

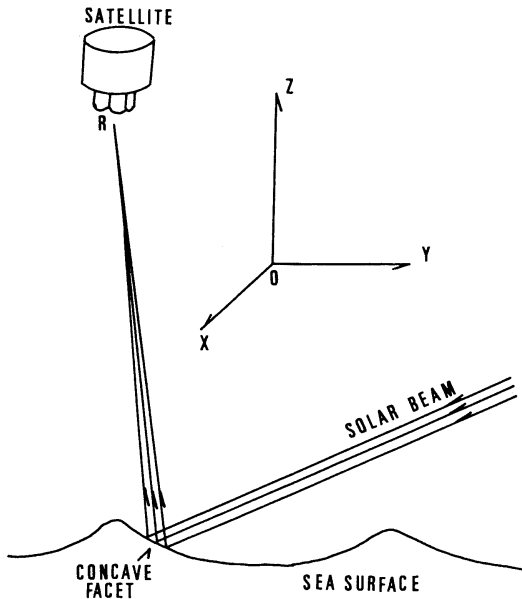


Fig. 1. A conceptual model of the solar beam and the radiation on the agitated sea surface on which the concave facets could act as mirrors with the foci just neighbor the sensor mounted on the satellite.

では、Cox and MUNK (1954) の場合、少くとも個々の波が弁別できた。しかし、人工衛星の可視画像では、情報源の海面は AVHRR で約 1 km 平方以下は弁別できない。ATP では約 4 km 平方以下は弁別できない。これは、画像上のピクセルの寸法によって定まる。したがって、Cox and MUNK (1954) の統計理論がそのまま、人工衛星の可視画像に適用できるとは考え難い。

さらに、人工衛星の赤外画像についてみても、画像上のピクセルの寸法で、海面からの情報は制限される。本文で対象とする ATP では、約 4km 平方が 1 ピクセルの占める海面に相当するので、個々の波をとらえ、上記の Cox and MUNK (1954) の統計理論をそのままあてはめるわけにはいかない。

結局、最初から検討をすることが必要になる。

そこで、Fig.1 のように海面が波立っていて、波面の一部が凹面鏡のようになり、太陽光が波面で反射して、人工衛星の赤外線センサーに焦点を結ぶ様になったとしよう。海上の強風域や台風域から出たうねりは、その良い例と考えることができる。

海面が平坦ならば、海面放射によって、人工衛星の赤外線センサーは海面温度に対応した情報を受け取るはずである。したがって、海面が波立って Fig.1 のような

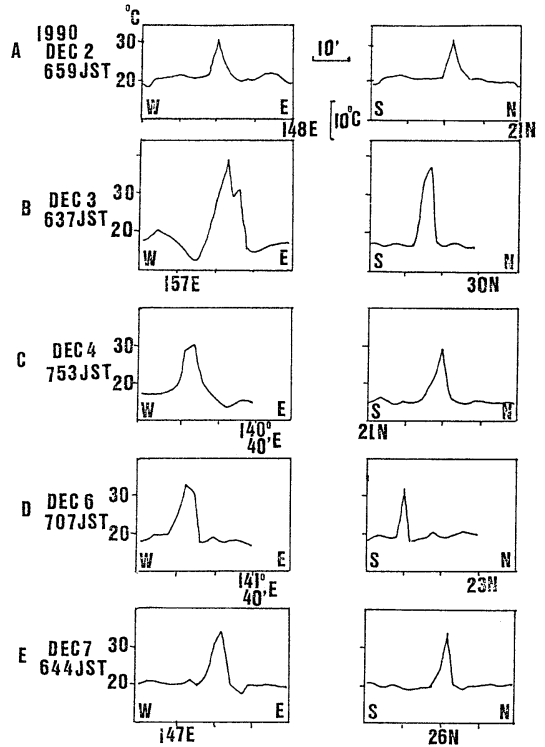


Fig. 2. Examples of apparent high sea surface temperature observed in the infrared thermal imageries of the NOAA satellites.

A) 1990 Dec. 2nd-06 h 59 m JST, B) 1990 Dec. 3rd-06h 37m JST, C) 1990 Dec. 4th-07h 53m JST, D) 1990 Dec. 6th-07h 07m JST, E) 1990 Dec. 7th-06h 44m JST. (Thermal patterns along the longitude and the latitude are shown).

条件を満しているときには、その情報は海面放射の増加としてあらわれることになる。この増加分を、本文では、海面状態と関連づけてみようとするわけである。問題は総観的問題となる。

人工衛星の赤外画像の 1 ピクセルの情報で何がわかるのであろうか。

3. 人工衛星赤外画像上の海面水温異常

ここで、人工衛星赤外画像を直接受信 (APT) した例について、海面水温異常の例を示す。受信局は、京都大学防災研究所附属白浜海象観測所 (概位: $33^{\circ}42'N$, $135^{\circ}21'E$) である。ここでは、人工衛星 NOAA の ATP 赤外画像を対象とした。

たとえば、画像のピクセルを調べていくと、海上の一部に、局所的に周囲の海面温度より $10^{\circ}C$ 以上も高い海域 (ピクセル) が認められる。そのような海域における周

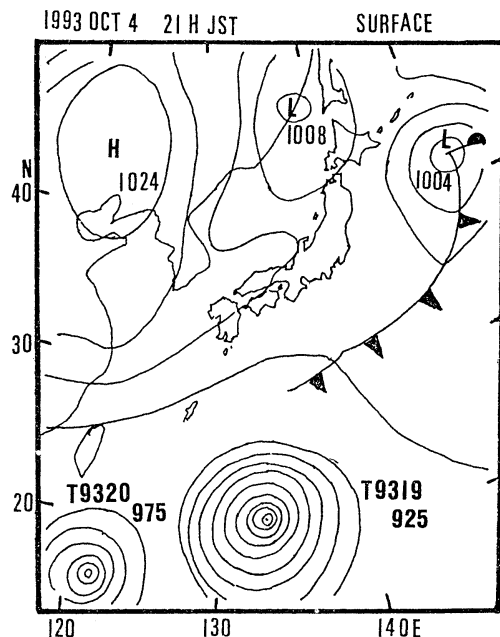


Fig. 3. Weather chart (surface) at 21h JST on 1993 Oct. 4th in which the two typhoons, T9319 and T9320 are included.

辺の海面温度と局所的高温部の分布には、一定の特徴がある。いくつかの画像の例について、その局所的高温部周辺の海面温度の東西方向分布（緯度沿い分布）および南北方向分布（経度沿い分布）をFig. 2に示した。それぞれの画像、それぞれの時刻で、上述の局所的高温部の地理的位置は一定しているわけではない。

この海面温度の異常高温は、画像受信時の走査線に原因するもので、受信装置または受信状態等によるものである可能性も含まれる。しかし、正常な受信状態で、正常な受信画像中のピクセルに対しては、異常高温は、現象としては異常であっても、情報としては正常であると解さなくてはならない。

ここで、Fig. 2をみると、いずれの日時の例でも、周辺海面水温と異常高温の極値との差は 10°C 以上である。そして、異常高温域は、面積としては、およそ $20 \times 10\text{ km}^2$ とみられる。なお、この場合には、受信装置の表示する海面温度を、そのまま正しいものとして読みとった。ただし、相対的な温度差に変るところはない。

ところで、気象庁の地上天気図によれば、1990年11月30日に台風9028号が紀伊半島南西岸に上陸した後北上した。その後、12月2—7日は比較的穏やかで移動性高気圧の影響下にあった。したがって、海面状態は、強風域を脱して、うねりが卓越する状況にあったものと考えら

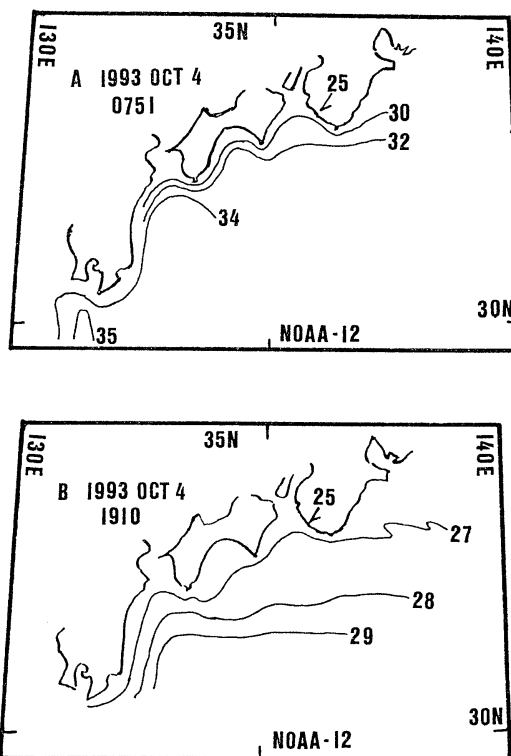


Fig. 4. Sea surface thermal patterns.

- A) 1993 Oct.4th-07h51mJST (apparent sea surface temperatures for the contours of 30, 32, 34 and 35°C and the reference is 25°C observed at the offshore tower station).
- B) 1993 Oct.4th-19h10mJST (apparent sea surface temperature for the contours of 27, 28 and 29°C and the reference is 25°C observed at the offshore tower station).

れる。すなわち、太陽放射あるいは海面放射が凹面状波面から人工衛星の赤外線センサー付近を焦点とする様な状態が出現していたものと解釈して妥当であると考えられる。このことから、Fig. 1に示す状況が現象として認められる可能性は高いことになる。

4. 遠隔台風と海面水温異常

台風は、一般に、北西太平洋赤道域で発生し、その後、北上して、中緯度帯に位置する日本列島に影響を及ぼす。このような台風の一例がFig. 3に示した台風9319および9320号である。この2つの台風は、図中では 20°N 付近にあって、日本列島からみれば、遠隔台風と言ってよい。

1993年10月4日7時51分JSTの衛星画像 (cf. Fig. 4

上段)では、西日本南沖の海面温度が異常に高くなった。とくに、九州南沖では海面温度が35°C以上となった。これが、10月4日19時10分 JST には、西日本南沖で、海面温度は3~5°C低下した (cf. Fig. 4 下段)。

ちなみに、紀伊半島南西岸沖合の京都大学海洋観測塔の観測記録によると、Fig. 4 の例に対応する時刻の表面水温は、7時51分 JST には24.5°C、19時10分 JST には25.0°Cであった。衛星画像で対応点での海面温度が共に25°Cであるから、観測塔を中心とした西日本南方沖の海面温度は、海面水温とみなしてもよさそうである。しかし、10月4日の朝の海面温度が、それから約11時間後に3~5°C低下することに十分な理解を得るためには、それ以前の海面温度の情報も必要である。

この場合、Fig. 4 Aの画像で、急に海面温度が高くなり、Fig. 4 Bでは、10月3日の状態に戻ったことが確認されている。すなわち、Fig. 4 Aは、海面温度と太陽放射による海面状態の情報とが重ねあわせであらわれたものと解釈できる。これが、たとえ、原理的に、Cox and MUNK (1954) の理論の適用の対象とはならなくても、画像のピクセル単位の情報にもとづく総観的な解釈には、Fig. 1 のような力学的背景を考える必要がある。

このような問題に関連して、海面における電波の後方散乱や前方散乱に関する研究が、近年、わが国の内外で多くみられるようになったが、そこでは、対象海域の波のアンサンブルを考えたり、ブラッグの散乱理論の応用を考えている様なので、本文の問題とは別のものとしてみるべきであろう。ここでは、その詳細については述べないこととする。

また、衛星画像上の海面水温が対応海域の実測海面水温と異なることは、かなり以前から指摘されていた。その原因として、これまでに、衛星搭載のセンサーと対象海面との間の大気または大気中の水蒸気などの影響が考えられ、いろいろと検討されてきている様であるが、物理的には十分なものとは考え難い。

衛星赤外画像の利用にあたっては、電波伝搬の問題も

考えられるが、これは、本文の対象としては考慮する必要がない程度の影響とみて差支えないであろう。

5. 結 言

人工衛星NOAAの赤外画像 (APT) において、時折、局所的海面温度の異常な上昇が認められる。本文では、これを、対象海域の海面状態、とくに、海面波と関連しているものという仮説に立って検討し、その要点を記した。衛星の赤外画像で Cox and MUNK の統計理論をそのまま適用するのは正しくない。総観的にみた海面状態と衛星赤外画像との対応関係を考えることが必要である。海面状態、とくに、海面波との関係について、概念的モデルを導入し、衛星赤外画像にあわられる見かけの海面水温上昇が説明できることを、いくつかの例によって示した。

文 献

- COX, C.S. and W.H. MUNK (1954) Statistics of the sea surface derived from sun glitter, *J. Mar. Res.*, **13**, 198-227.
- NAKAMURA, S. (1990) Satellite monitoring of storm runoff, *Proc. 5th Conf. on Urban Storm Drainage*, Vol. 2, 639-645.
- NAKAMURA, S. (1992) Satellite thermal variations of Kuroshio in relation to storm floods, *Proc. of PORSEC '92 in Okinawa*, vol. 2, 835-840.
- NAKAMURA, S. (1993a) Satellite thermal monitoring of storm flood spreading around Kuroshio flow, *Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, 43-1 (373), 31-39.
- NAKAMURA, S. (1993b) Satellite monitoring of storm flood spread as a land-ocean interaction, *IEEE Proc. Internat. Geosci. Remote Sensing Symposium*, Vol. 1, 203-205.
- 日本リモートセンシング研究会編 (1996) 図解リモートセンシング, 社団法人日本測量協会, 308p.
- STEWART, R.H. (1984) *Methods of satellite Oceanography*, Univ. Calif. Press, Calif., 360 p.

Book review

Scientific thought as planetary phenomenon

V. I. VERNADSKY, 271 pp. Nauka, 1991 (in Russian)

Vladimir Ivanovich VERNADSKY is a famous Russian geologist and geochemist. In spite of official recognition of his scientific merits – e.g., one of the largest Moscow avenues was named in his honor – his works on biosphere evolution became available to the mass reader only recently. This book prepared for publication by the Russian Academy of Sciences takes a particularly important place in his creative heritage. Written at the end of his life, this book is a generalization of his scientific research experience relative to the fate of human civilization.

A key point of the book is that civilization is a form of a new geological force – scientific thought – performance. VERNADSKY supposes that since civilization corresponds to geologically developed organization of the biosphere, it can not cease and destroy itself. He writes: “Noosphere – biosphere transformed by scientific thought, prepared by the process which was lasting hundred millions, maybe billions, of years and which have created *Homo sapiens faber* – is not a short-lived and transient geological phenomenon.”

Proving this thesis, VERNADSKY clearly distinguishes ideological and scientific aspects of the problem. He emphasizes that although the perceptions of the world are overfilled with religious, philosophical and social constructions (which more often than not contradict to those which are scientifically recognized, but which are nevertheless taken into account by some researches), the supremacy of scientific thought always exists. He indicates that unlike opinions, reflecting the range of individualities, scientific conclusions are obligate, because they reflect reality and do not depend on our will, and concludes that due to this reason other perceptions gradually retreat if they are inconsistent with a scientific one.

At the same time VERNADSKY recognizes that a scientific construction, as a rule, is not a logically strict, rationally determined system of knowledge. He defines science as manifesta-

tion of life, rather than of logic: “Scientific thought – scientific creative work – scientific knowledge are going in the grounds of life, to which they are closely related, and by means of their existence they induce manifestations in the sphere of life, which are not only disseminating scientific knowledge but also creating the countless form of its revelation, inducing countless large and small sources of scientific knowledge.” But he specifies that part of science – the mass of scientifically established facts – remains generally obligate.

The facts used by VERNADSKY in his reasoning – completely populated biosphere, impetuous development of science and technology, anthropogenic acceleration of geological processes – are presently sources of trouble rather than encouragement. The second half of the 20th century has shown that imbalance between the level of social organization and the level of technology puts civilization at the edge of catastrophe. VERNADSKY recognizes this danger, but considers that instability that appeared in the course of the transition from biosphere to noosphere is not very significant. He explains his proposition with the following observation: “Science, as a matter of fact, is spontaneously interfering in government activity and, ...getting the more leading position.” At the same time, he emphasizes a lack of governmental forms for solution of intergovernmental problems related to financial aspects of the creation of the noosphere. Modern trends of international relations are in a good agreement with the prediction of VERNADSKY that approaches promoting the transition to noosphere will appear through the increasing influence of science, although many of them: United Nation Environmental Program, Intergovernmental Panel on Climate Change, etc. – originated from the awareness of the need to maintain the biosphere rather than of the need to create the noosphere.

The continuity of scientific development is a

fundamental point of VERNADSKY's argument: "Nowhere – among the wars, destruction, dying from diseases and killings – we see weakening of scientific movement. All the losses are rapidly reimbursed by powerful boost in practical implementation of scientific achievements and in organization of government and technology on the scientific basis. It seems sometimes that in this turnover of people's unhappiness science grows more fast and that it has all the means for stopping any attempts to establish a barbarous society". "The cause for continuous, independent from social and political factors, development of world science (according to VERNADSKY) is that "government life in its basis is more deeper and more stronger occupied by scientific achievements and increasingly depends on science in its power"; in other words the government which promotes the larger amplitude of scientific activity "reaches the maximal power in the noosphere." It is easy from here to come to the conclusion that development of science – due to natural geopolitical competition of governments – is both a sustainable and irreversible process, at least while countries pretending to have a unique role in the world community exist.

Today, especially in the case of Russia, we can see, that social and political changes may, nevertheless, lead to decline of scientific activity. The logic of VERNADSKY's reasoning ex-

plains this phenomenon: the decline of confrontation between the states inevitably decreases the state demands for science as a source of economical and military power. Extrapolating this way of reasoning, one might come to the conclusion that the prerequisites for growth of science gradually disappear over the course of strengthening unity of humankind. However, VERNADSKY did not go so far. As a naturalist, he derived conclusions from the tendencies that were obvious in his time. His prediction that science's interference in society will result in a decrease in the confrontation between the countries and in the appearance of intergovernmental bodies for resolving the biosphere problems is now realized. Whether it means that science having done its duty should quietly leave social life, or new social mechanisms for sustaining science as a geological force will appear, we wait to see. Modern science will find the answer to this question eventually. The book of VERNADSKY provides an excellent model how to do this within the frameworks of the methodology of natural science.

Georgii A. ALEXANDROV
Institute of Atmospheric Physics of
Russian Academy of Sciences,
Pyzhevsky per. 3, Moscow 109017,
Russia

学 会 記 事

- 1995年11月15日(水)東京水産大学において平成7年度第1回幹事会が開かれた。主な議事は下記の通り。
 - 平成8・9年度評議員および会長選挙日程を次のように決定した。
 - 選挙事務は有元庶務幹事を中心に行う。
 - 12月初めに評議員投票用紙ならびに選挙人名簿を会員宛に発送、投票締切を12月末とする。開票は明年1月初旬に行う。
 - 評議員の決定を受けて、会長選挙を明年2月中旬に行う。日程については前回の日程を参考にして実施する。
 - 会計について中間報告が行われた。
 - 編集委員会からLa mer(うみ)の編集、印刷状況について報告があった。また、La merの体裁変更について提案があり、従来各論文ごとに末尾に印刷していた和文要旨を各号の末尾にまとめて印刷することにした(第34巻から実施する)。
 - 柳 哲雄会長から要望が出されているPAMS & JECSS VIII WORKSHOPのproceedingsの刊行については、相応の経費負担をしてもらうことを条件に承認された。
 - La merの平成8年度文部省科学研究費補助金「研究成果公開促進費」の申請を行う。
 - 学協会著作権協議会からの連絡について報告があった。
 - 11月2日に日仏会館で行われた日仏セミナー「沿岸環境の再生をめざして」について紹介があった。
 - 評議員・会長選挙に関連して、立候補および推薦候補制度について検討することにした。

2. 新入会員(*印学生会員)

氏名	所属・住所	紹介者
毛利雅彦	水産大学校漁業学科漁法学講座 〒756-65 下関市永田町2-7-1	松生 治
野村英明	名古屋大学大気水圏科学研究所 〒464-01 名古屋市千種区不老町	石丸 隆
* 崔 鎔奎	愛媛大学工学部沿岸海洋学教室 〒790 松山市文京町3	柳 哲雄
北出裕二郎	東京水産大学海洋生産学科	松山優治

〒108 港区港南4-5-7

3. 所属先・住所等の変更(正会員)
岩淵義郎 〒104 中央区築地5-3
海上保安庁水路部内
(財)日本水路協会
鈴木利一 学生会員から正会員へ
〒852 長崎市文教町1-14
長崎大学水産学部
鳥羽良明 〒982 仙台市太白区八木山南6-7-11
4. 退会(正会員)
平川広満, 池田 豊, 松村阜月
5. 逝去
元田 茂
6. 受贈図書
東北区水産研究所研究報告 57
NTT R & D 44
日本学術会議月報 36(6~10)
海洋産業研究資料(ニュース月報) 26(8~13)
海産研NEWS 28
湖沼実習施設年報
RESTEC(創立20周年記念号)
農業工学研究所ニュース 8
農業工学研究所報告 34
農業研究所年報 6
広島日仏協会報 129, 130, 131
海洋研究所年報 16
東海大学海洋研究所研究報告 16
Bulletin of the National Science Museum
21(2, 3)
鯨研通信 386, 387
高知大学海洋生物教育センター研究報告 14
Bulletin of Marine Sciences and Fisheries
千葉県水産試験場研究報告 53
東海大学紀要 40
佐渡島北方海底地質図 1995年

なつしま 137, 138

国内海洋調査一覧

養殖研ニュース 30

勇魚 13

Chinese Science Bulletin 40(10~12)

Israel Oceanographie & Limnological Research
17

Israel Oceanographie & Limnological Research
(Biennial Report)

Annales de L'institut Océanographique 70

ОКЕАНОЛОГИЯ 35(2)

Aquatic Living Resources 8(1)

Journal of the Korean Society of Oceanography
30(3, 4)

Meereswissenschaftliche Berichte 9

American Museum Novitates 3131, 3134

日仏海洋学会役員・評議員

(1994~1995年度)

顧問：ユーベル・プロシェ ジャン・デルサルト
ジャック・トーベル アレクシス・ドラ
ン デール ベルナル・フランク ミシェル・
ルサージュ ローベル・ゲルムール ジャッ
ク・マゴー レオン・ヴァンデルメルシュ
オーギュスタン・ベルク ユーベル・セカ
ルディ

名誉会長：オリビエ・アンサール

会長：有賀祐勝

副会長：高木和徳 岡市友利

幹事：(庶務) 須藤英雄 有元貴文

(会計) 森永 勤 岸野元彰

(編集) 佐藤博雄 落合正宏

(研究) 関 文威 小池勲夫

(渉外) 佐伯和昭 降島史夫

監事：久保田穰 辻田時美

編集委員長：山口征矢

評議員：

有元貴文 有賀祐勝 石丸 隆 今脇資郎
宇野 寛 大塚一志 岡市友利 奥田邦明
落合正宏 梶浦欣二郎 金成誠一 鎌谷明善
岸野元彰 国司秀明 久保田穰 黒田一紀
小池勲夫 佐伯和昭 坂本 亘 佐藤博雄
杉森康宏 須藤英雄 関 文威 関根義彦
平 啓介 高木和徳 降島史夫 高野健三
高橋正征 谷口 旭 辻田時美 寺崎 誠
寺本俊彦 鳥羽良明 中田英昭 永田 豊
中村重久 奈須敬二 西沢 敏 畑 幸彦
半沢正男 堀越増興 前田明夫 松生 治
松村臯月 松山優治 丸茂隆三 村野正昭
森田良美 森永 勤 柳 哲雄 山口征矢
和田 明 渡邊精一

日本学術会議だより

No.38

公開講演会「産業空洞化問題を考える」開催さる

平成7年9月 日本学術会議広報委員会

今回の日本学術会議だよりでは、7月に開催された日本学術会議主催公開講演会「産業空洞化問題を考える」の概要について紹介します。

日本学術会議は、学術の成果を市民に直接還元するための活動として、日本学術会議会員が講師となって、市民を対象に年2回、日本学術会議主催の公開講演会を開催しています。

日本学術会議のグローバリゼーションと社会構造の変化特別委員会は、いわゆるグローバリゼーションの進展によって我が国の経済・社会が受ける諸種の影響と、それに伴う様々な問題点を吟味し、今後、我が国がとるべきそれらへの対応策の在り方を検討することをその任務とし、特に、現在の我が国にとっての最も重大な危機的事態とも言うべき「産業空洞化」の問題の分析に最重点を置いて、審議を進めつつあります。

今回の公開講演会では、この特別委員会によるそのような分析・審議の成果を踏まえて、3人の講演者によって、まず、(1)我が国の経済を全体として見てマクロ的に考察するという経済学的な視点からは、現在の長期不況と異常な「円高」に伴って余儀なくされつつある我が国産業の「空洞化」という事態をどう捉え、また、それに対応するべき経済政策はどうあるべきか、そして、次に、(2)技術工学的な観点からすれば、このような現在の状況はどのように把握され、また、それについて、どのような問題点が指摘されるべきか、そして、さらに、(3)企業経営の面から見た場合、このようなグローバリゼーションのインパクトはどのような意味を持ち、我が国の企業はどのようにそれに対応しつつあるのか、という3つの視点からの分析が行われました。

この講演会は、平成7年7月14日(金)の午後1時20分から、日本学術会議講堂において約200名の聴講者を集め開催されましたので、その概要をお知らせいたします。

◇次 第

- | | |
|--------|------------------|
| ○ 司 会 | 吉田 民人 (第1部会員) |
| 1 開会の辞 | 利谷 信義(日本学術会議副会長) |
| 2 挨拶 | 吉田 民人 (第1部会員) |
| | 問題提起 |
| 3 講演 | |

(1) 日本経済再生の方途

丹羽 春喜 (第3部会員)

(2) 技術移転と空洞化

富浦 梓 (第5部会員)

(3) グローバリゼーションと日本企業の多国籍化

岡本 康雄 (第3部副部長)

4 質疑応答

5 閉会の辞 西島 安則(日本学術会議副会長)

◇問題提起

吉田 民人(第1部会員、中央大学文学部教授)

空洞化という言葉は、英語でフォローイングアウトと言われ、これが最初に問題になったのは1960年代のアメリカであり、当時ECにアメリカの自動車あるいは電機産業が出て、アメリカの労働組合が、ジョブ、つまり仕事の輸出であるということでもかなり反対したといったようなところから始まって、日本でも、1960年代の後半には東南アジアに直接投資が開始されていた。もちろんこの種の問題は、経済のグローバリゼーションという、まさにグローバリゼーションと社会構造の変化特別委員会が担当しているテーマの一つであるが、その空洞化が特に最近、円高の状況の中で国際競争力の著しい低下を招くということで、ますます加速されるというふうにみられているわけで、この種のテーマをグローバリゼーションと日本の社会構造の変化の中でも最も緊急のテーマの一つとして取り上げることになった。

空洞化といっても産業の空洞化、金融の空洞化、技術の空洞化、あるいは産業の空洞化も生産の空洞化、経営の空洞化あるいは雇用の空洞化といったさまざまな側面があるわけで、主としてその辺の問題を「産業の空洞化」という一言である意味でラフに総括させていただいた企画である。

中身は三つあり、(1)日本経済をマクロ的な角度から見ての空洞化の原因とその対策について、(2)技術の空洞化に関して、(3)ミクロ的な企業がグローバリゼーションの中で国際化していく。まさにそういう意味で言えばミクロ的であると同時にグローバルな、その意味

でマクロ的な観点から、それぞれ講演が行われる。

ここで出る問題は多岐にわたるが、基本的には空洞化の原因の究明と、それに対する対応策という二つの側面からの講演となるが、例えば大蔵省の立場あるいは日銀の立場、あるいは地方公共団体の立場、あるいは企業の立場、それぞれの立場によって微妙に特殊利益が反映せざるを得ないような問題構造になっているが、研究者というのはそういう特定の、つまり職業的な集団の利益から比較的解放されて、非常に客観的な判断をすることができる職業集団に属していることから、できるだけ客観的に、一般的に特殊な利害にとらわれない角度からの検討をさせていただくことになっているので、研究者としてはこういう見方をしているんだということをぜひお聞きいただきたい。

◇日本経済再生の方途

～円高と産業空洞化問題をどう考えるべきか～

丹羽 春喜

(第3部会員、グローバリゼーションと
社会構造の変化特別委員会委員長)

- ・ ケインズ 対 反ケインズ
- ・ 経済学の50～100年の退歩
——ベトナム後遺症のニヒリズム——
- ・ 政策の不合理性と長期経済停滞
- ・ 三重の悪循環のジレンマによる不況の永続化
- ・ 「信賞必罰」システムのフロート制と「円高」の責め苦、そして産業空洞化
- ・ 「低成長→低税収→財政赤字→緊縮財政→不況永続化」の悪循環
- ・ 「リストラ不況」の危険性
- ・ 20年以上もの超長期不況
- ・ 結果としての「近隣窮乏化」政策（対外経済摩擦の根本的原因）
- ・ 「正常な」国際分業と「異常な」空洞化とを混同するな
- ・ ミスリーディングな「成熟経済」パラダイム
- ・ 膨大なデフレ・ギャップ
——それを直視しようとする『経済白書』の危険性——
- ・ 「規制緩和」、「リストラ」、「行革」、「市場開放」、等々の限界と欺瞞性
- ・ 「合成の誤謬」の問題をまじめに直視しようとする風潮
- ・ 朝野をあげての幼児化現象
- ・ 必要な「最善のシステム」ビジョン（市場経済＋国民経済予算）への回帰
——むしろ、デフレ・ギャップこそ「真の財源」——
- ・ 震災復興と被災者支援の政策はどうあるべきか
——国家の本質的な機能とは何か——
- ・ 混迷からの脱却へ

およそ、上記のような諸項目について、問題点を解

きあかし、日本経済再生の方途について、国民経済予算制度を現在の市場経済をベースにしている経済体制に組み込むべし等の提言を行いました。

◇技術移転と空洞化

富浦 梓(第5部会員、新日本製鐵(株)常任顧問)

製造業は全て技術の発明と、その移転によって、拡大、発展を成し遂げてきた。鉄鋼業における技術移転の歴史を振り返ってみると、一般的に技術の個人依存性が高いものほど移転が困難であり、技術の表象可能性の高いものほど移転が容易である事に気がつく。

技術の完全な表象には多くの困難が存在し、それ故に未だ経験に依存するところが多い。技術の表象可能性を高めるには、製造に伴って生ずる現象を分析して、基本過程を取り出し、それ等を統合して新たなシステムを発現するという行為の繰返しが必要とされる。

このような経験の科学化を継続的に行われないとすると、技術の空洞化が生じやすくなる。

このような点について着目し、技術移転と空洞化について、生産技術としての工学から社会技術としての工学へのシフト等の具体的提案としてまとめました。

◇グローバリゼーションと日本企業の多国籍化

岡本 康雄(第3部副部長、青山学院大学国際政治経済学部教授)

日本の製造企業は、1960年代後半東南アジアに生産拠点を軸とした海外直接投資を始めた。そして70年代に入ると、貿易摩擦回避がらみで米国向けの海外直接投資が、電機・電子、さらに乗用車といった分野において大規模に行われるにいたった。EUにも同じ様な分野での生産拠点の形成が進められた。この間、日本企業の競争優位資源の海外移転が果たしてどのように行われうるか、が重要な課題であった。

他方、世界規模では、各国、特に先進国間の所得水準の平準化と市場の同質化技術水準の均等化と革新の同期化が進み、情報通信技術の急速な進歩とそれによる伝達コストの低下、各国制度の自由化がこれに加わって、80年代国境なき経済——グローバリゼーションが急速に進展し、グローバル規模での競争が重要な課題であった。

そして80年代後半からは、アジアNIES、90年代にはアセアンが台頭し、東アジア全体がグローバルな注目を浴びるにいたっている。そして日本は、急速な円高によりアセアンへの生産移転を急テンポに進めざるをえなくなっている。それは、日本国内の空洞化を誘発している。

これら三つは、今現在、同時解決を求められている課題である。このトライアドについて考察しました。

※ なお、この講演会の模様については、前回の講演会と同様、日学双書No.24「産業空洞化問題を考える」として、(財)日本学術協力財団より刊行予定です。

**La mer (Bulletin de la
Société franco-japonaise
d'océanographie)
Tome 33 (1995)**

Sommaire

Numéro 1

Notes originales

The western boundary current east of Ryuku Islands.....Yaochu YUAN, Jilian SU, Ziqin PAN, Hong CHEN, Hiroshi ICHIKAWA, Shiro IMAWAKI, Kazuo KAWATATE, Kenzo TAKANO and Shin-ichiro UMATANI	1-11
Temperature-salinity frequency distribution of the upper 10m water of the Japan Sea	13-35
Hideo SUDO	
Underwater brightness in nighttime and behavior of Japanese spiny lobsters	37-46
Takashi KIOKE, Yoshitaka MORIKAWA and Miyuki MAEGAWA	
Study on mechanism of an automatic fishes selector of roll type for caught fresh fish (in Japanese)	47-53
Naobumi HIGASHIKAWA and Sadami YADA	
Procès-verbaux	55-62

Numéro 2

Notes originales

A numerical experiment on the path dynamics of the Kuroshio south of Japan. Part 1. Coastal topographic effect	63-75
Mingqiu ZHANG and Yoshihiko SEKINE	
A numerical experiment on the path dynamics of the Kuroshio south of Japan. Part 2. Bottom topographic effect	77-87
Mingqiu ZHANG and Yoshihiko SEKINE	
Wind-driven current in Tokyo Bay, Japan during winter	89-101
Xinyu GUO and Tetsuo YANAGI	
Observations at offshore tower stations in winter (in Japanese)	103-106
Shigehisa NAKAMURA	
Long-term variations of environmental parameters in Tokyo Bay, central Japan (in Japanese)	107-118
Hideaki NOMURA	

うみ (日仏海洋学会誌)

第33巻 (1995年)

総目次

第1号

原著論文

琉球諸島東側の西部境界流 (英文)	1-11
Yaochu YUAN・Jilian SU・Ziqin PAN・Hong CHEN・市川 洋・川建和雄・今脇資郎・高野建三・馬場紳一郎	
日本海の海面と10m深とにおける水温-塩分度数分布 (英文)	13-35
須藤英雄	
夜間の水中照度とイセエビの活動度 (英文)	37-46
小池 隆・森川由隆・前川行幸	
鮮魚のロール式大小仕分け機構に関する研究	47-53
東川直史・矢田貞美	
学会記事	55-62

第2号

原著論文

日本南岸の黒潮流路の力学に関する数値実験 第1部 陸岸地形効果 (英文)	63-75
張 銘秋・関根義彦	
日本南岸の黒潮流路の力学に関する数値実験 第2部 海底地形効果 (英文)	77-87
張 銘秋・関根義彦	
冬季東京湾における風による流れ (英文)	89-101
郭 新宇・柳 哲雄	
沖合いの観測塔における冬季の海象観測	103-106
中村重久	
東京湾における水域環境構成要素の経年変化	107-118
野村英明	

Study on velocity variation of winding jigs by hauling drum for automatic squid jigging machine (in Japanese)Haibo GUO, Sadami YADA, Masayoshi TODA and Yoshihiko NAKAMURA 119-124

Faits divers

Storm-induced swell and coastal structure's damage...Shigehisa NAKAMURA 125-127

Procès-verbaux 129-134

イカ釣機のドラムの形状による巻き上げ速度の変動.....郭 海波・矢田貞美・戸田勝善・中村善彦 119-124

資料

台風によるうねりと海岸構造物の損傷.....中村重久 125-128

学会記事 129-134

Numéro 3

第 3 号

Notes orifinales

A numerical study on the formation of circulation in the Yellow Sea during summerSatoru TAKAHASHI and Tetsuo YANAGI 135-147

Nutrition, growth rate and sensibility to grazing for the dinoflagellates *Dinophysis acuminata*, *D. acuta* and *D. norvegica*.....Enda GRANÉLI, D. M. ANDERSON, Per CARLSSON, G. FINENKO, S. Y. MAESTRINI, Maria A. de M. SAMPAYO and T. L. SMAYDA 149-158

Toxicity of Nogos-100EC to the Indian major carp *Chirrhina mrigala* fryMd. G. M. ALAM 157-160

Variation in oxygen, nutrient and carbonate fluxes of the Kuroshio CurrentC. T. A. CHEN, C. T. LIU and S. C. PAI 161-176

A study on cutting mechanism of the suction type Nori harvester (in Japanese)Sadami YADA, Jiakang CHEN and Masayoshi TODA 177-184

Velocity dependence on cabitation erosion around bounded jet (in Japanese)Hiromi MOCHIZUKI, Motohiro YOKOTA and Yukio ITO 185-189

Conférence commemorative

A series of study on large meander of the Kuroshio and oceanic processes around the Kuroshio region (in Japan)Yoshihiko SEKINE 191-193

Procès-verbaux 195-201

原著論文

夏季の黄海の循環流の生成機構に関する数値実験 (英文)高橋 暁・柳 哲雄 135-147

渦鞭毛藻 *Dinophysis acuminata*, *D. acuta* および *D. norvegica* の栄養, 成長速度と補食感受性 (英文)Enda GRANÉLI・D. M. ANDERSON・Per CARLSSON・G. FINENKO・S. Y. MAESTRINI・Maria A. de M. SAMPAYO・T. L. SMAYDA 149-156

インド鯉稚魚への殺虫剤 Nogos-100EC の毒性 (英文)Md. G. M. ALAM 157-160

黒潮における酸素, 栄養塩および炭酸塩のフラックス (英文)C. T. A. CHEN・C. T. LIU・S. C. PAI 161-176

海苔の吸引式摘採機の切断機構に関する研究.....矢田貞美・陳 家康・戸田勝善 壁効果の著しい噴流キャビテーションにおける懐食の速度依存性望月敬美・横田源弘・伊藤幸雄 177-184

185-189

日仏海洋学会賞受賞記念講演

黒潮大蛇行および黒潮域を中心とした海洋過程に関する一連の研究.....関根義彦 191-193

学会記事 195-201

Numéro 4

第4号

Notes originales

Theoretical analysis on new mechanism of purse seine net hauling vertical drumGao GUANBIN and Sadami YADA 203-207

Measurement of ship heading using DGPS technique (in Japanese)Yoshihiko NAKAMURA, Yoshinori MIYAMOTO and Toshihumi HAYASHI 209-214

Inhibition of locomotor activity by the light levels at nighttime in the Japanese abalone *Haliotis (Nordotis) discus* (in Japanese)Yoshitaka MORIKAWA, Takashi KOIKE and Tutomu MORINAGA 215-220

On the interaction between a surface wave and a basic current in the sea IAkira MATSUSHIMA, Akira TOMIZUKA, Masao KOGA and Nobuyuki GOTO 221-225

On the interaction between a surface wave and a basic current in the sea IIAkira MATSUSHIMA, Akira TOMIZUKA, Masao KOGA and Nobuyuki GOTO 227-232

Faits divers

Sea state in relation to apparent high sea surface temperature in the satellite infrared imagery (in Japanese)Shigehisa NAKAMURA 233-236

Scientific thought as planetary phenomenonGeorgii A. ALEXANDROV 237-238

Procès-Verbaux 239-242

Sommaire du Tome 33 (1)-(3)

原著論文

巻網揚網用の新縦型ドラム機構の理論的解析 (英文)曹 広武・矢田貞美 203-207

DGPS 的手法による船首方位の測定中村善彦・宮本佳則・林 敏史 209-214

クロアワビの夜間行動を抑制する水中の明るさ森川由隆・小池 隆・森永 勤 215-220

海の表面波と基本流の相互作用について I松島 晟・富塚 明・後藤信行・古賀雅夫 221-225

海の表面波と基本流の相互作用について II松島 晟・富塚 明・後藤信行・古賀雅夫 227-232

資 料

海面状態による衛星赤外画像上に見られる見かけの海面水温上昇中村重久 233-236

惑星現象からの科学思想論 (英文・書評)Georgii A. ALEXANDROV 237-238

学会記事 239-242

第33巻総目次 (1)-(3)

賛 助 会 員

阿 部 嘉 方	東京都練馬区春日町 2-15-6
株式会社 内田老鶴園 内田 悟	東京都文京区大塚 3-34-3
有限会社 英和出版印刷社	東京都北区中里 2-7-7
株式会社 カ イ ジ ョ ウ	東京都西多摩郡羽村町栄町 3-1-5
(財) 海洋生物環境研究所	東京都千代田区内神田 1-18-12 北原ビル内
株式会社 川 合 海 苔 店	東京都大田区大森本町 2-31-8
株式会社 自然・情報環境研究所	横浜市栄区桂町 1-1, 3-401
新日本気象海洋株式会社	東京都世田谷区玉川 3-14-5
全日本爬虫類皮革産業連合会	東京都足立区梅田 4-3-18
株式会社 高 岡 屋	東京都台東区上野 6-7-22
株式会社東京久栄技術センター	埼玉県川口市芝鶴ヶ丸 6906-10
株式会社西日本流体技研	長崎県佐世保市棚方町 283
日本アクアラング株式会社	神奈川県厚木市温水 2229-4
(株) 三 菱 総 合 研 究 所 (社会情報システム部)	東京都千代田区大手町 2-3-6
(株) 本 地 郷	東京都千代田区神田須田町 2-2-4 須田町藤和ビル7F
株式会社 読 売 廣 告 社	東京都中央区銀座 1-8-14
渡辺機開工業株式会社	愛知県渥美郡田原町神戸大坪 230
株式会社 渡部計器製作所	東京都文京区向丘 1-7-17

odix tokyo *c'est un bureau rédactionnel indépendant*

Tous les musiciens s'instruisent dans l'art de jouer de leur instrument.

器楽を演奏するにはその技術を習得しなければなりません

Tous les automobilistes s'instruisent dans l'art de conduire leur voiture.

自動車を運転するにはその技術を習得しなければなりません

Alors pourquoi peu d'étudiants désirent-ils s'instruire

dans l'art de leur communication scientifique?

研究者だけが論文作成技術を修得しないで済ませていいはずがありません

Dans le cadre de l'art de la communication scientifique,

l'odix tokyo vous offre un appui pleine de services sur la demande.

オウディクス トウキョウはよりよい学術論文をまとめたあなたを

あなたの満足ゆくまで応援します

Pour de plus amples détails, adressez-vous à:

当事務所のサービスについてのご照会は下記へ

odix tokyo

office de diffusion internationale et
de communication scientifiques de Tokyo

YVT 1511, 4-4 Mita 1, Meguro-ku

Tokyo 153

オウディクス トウキョウ

学術情報国際流通事務所

東京都目黒区三田1-4-4

恵比寿ビュータワー1511 〒153

Tél/Fax: (03) 54.21.08.77

Biospherical Instruments (Biospherical社は、水中放射計) の専門メーカーです。

PRR-600型

水中器	下向き照度	6波長(1波長追加可)
	上向き輝度	6波長(1波長追加可)
	深 度	100m標準 200m可
	温 度	
	ケーブル	100m強化
	デッキユニット	バッテリータイプ
		RS-232C出力
	ソフト	付属(IBM/DOS)



CI

CHELSEA
INSTRUMENTS
LIMITED

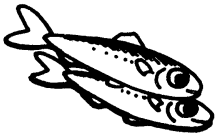


**Biospherical
Instruments
Inc.**

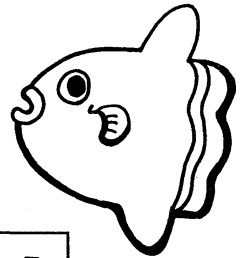
日本総代理店

ケー・エンジニアリング株式会社

〒111 東京都台東区浅草橋5-10-12
TEL 03-5820-8170
FAX 03-5820-8172



海洋生物資源を大切に利用する企業でありたい
—— 青魚 (イワシ・サバ・サンマ) から宝を深し出す ——



母なる海・海には愛を!

La mer la mère, l'amour pour la mer!



SHIDA

信田缶詰株式会社

〒288 千葉県銚子市三軒町2-1 TEL 0479(22)7555 FAX 0479(22)3538

● 製造品・水産缶詰・各種レトルトパウチ・ピン詰・抽出スープ・他

日仏海洋学会入会申込書

(正会員・学生会員)

	年度より入会	年	月	日申込
氏名				
ローマ字		年	月	日生
住所 〒				
勤務先 機関名				
電話				
自宅住所 〒				
電話				
紹介会員氏名				
送付金額		円	送金方法	
会誌の送り先 (希望する方に○をつける)			勤務先	自宅

(以下は学会事務局用)

受付	名簿 原簿	会費 原簿	あて名 カード	学会 記事
----	----------	----------	------------	----------

入会申込書送付先: 〒150 東京都渋谷区恵比寿3-9-25

(財)日仏会館内

日仏海洋学会

郵便振替番号: 00150-7-96503

日 仏 海 洋 学 会 編 集 委 員 会 (1994-1995)

委 員 長: 山口征矢

委 員: 青木三郎, 半沢正男, 堀越増興, 前田 勝, 落合正宏, 松山優治, 柳 哲雄, 渡辺精一

海外委員: H. J. CECCALDI (フランス), E. D. GOLDBERG (アメリカ), T. ICHIYE (アメリカ), T. R. PARSONS (カナダ)

幹 事: 落合正宏, 佐藤博雄

投 稿 の 手 引

1. 「ろみ」(日仏海洋学会機関誌; 欧文誌名 *La mer*) は, 日仏海洋学会正会員およびそれに準ずる非会員からの投稿(依頼稿を含む)を, 委員会の審査により掲載する。
2. 原稿は海洋学および水産学両分野の原著論文, 原著短報, 総説, 書評, 資料などとする。すべての投稿は, 本文, 原図とも正副2通とする。副本は複写でよい。本文原稿用紙はすべてA4判とし, 400字詰原稿用紙(和文)に, または厚手白紙にダブル・スペース(和文ワープロでは相当間隔)で記入する。表原稿および図説明原稿は, それぞれ本文原稿とは別紙とする。
3. 用語は日, 仏, 英3カ国語の何れかとする。ただし, 表および図説明の用語は仏文または英文に限る。原著論文(前項)には約200語の英文または仏文の要旨を, 別紙として必ず添える。なお, 欧文論文には, 上記要旨の外に, 約500字の和文要旨をも添える。ただし, 日本語圏外からの投稿の和文要旨については編集委員会の責任とする。
4. 投稿原稿の体裁形式は最近号掲載記事のそれに従う。著者名は略記しない。記号略号の表記は委員会の基準に従う。引用文献の提示形式は, 雑誌論文, 単行本分載論文(単行本の一部引用を含む), 単行本などの別による基準に従う。
5. 原図は版下用として鮮明で, 縮尺(版幅または1/2版幅)に耐えられるものとする。
6. 初校に限り著者の校正を受ける。
7. 正会員に対しては7印刷ページまでの掲載を無料とする。ただし, この範囲内であっても色彩印刷を含む場合などには, 別に所定の費用を著者負担とすることがある。正会員の投稿で上記限度を超える分および非会員投稿の印刷実費はすべて著者負担(10,000円/頁)とする。
8. すべての投稿記事について, 1篇あたり別刷50部を無料で請求できる。50部を超える分は請求により, 50部単位で作製される。別刷請求用紙は初校と同時に配布される。
9. 原稿の送り先は下記の通り。

〒108 東京都港区港南4-5-7 東京水産大学 山口征矢 気付
日仏海洋学会編集委員会

1995 年 11 月 25 日 印刷
1995 年 11 月 28 日 発行

う み 第 33 巻
第 4 号

定 価 々 1,600

編 集 者 山 口 征 矢

発 行 所 日 仏 海 洋 学 会

財団法人 日仏会館内

東京都 渋谷区 恵比寿 3-9-25

郵 便 番 号 : 1 5 0

電 話 : 03 (5421) 7 6 4 1

振 替 番 号 : 00150-7-96503

印 刷 者 佐 藤 一 二

印 刷 所 (有)英和出版印刷社

東京都 北区 中里 2-7-7

郵 便 番 号 : 1 1 4

電 話 : 03 (5394) 4 8 5 6

Tome 33 N° 4

SOMMAIRE

Notes originales

Theoretical analysis on new mechanism of purse seine net hauling vertical drumGao GUANBIN and Sadami YADA	203
Measurement of ship heading using DGPS technique (in Japanese)Yoshihiko NAKAMURA, Yoshinori MIYAMOTO and Toshihumi HAYASHI	209
Inhibition of locomotor activity by the light levels at nighttime in the Japanese abalone <i>Haliotis (Nordotis) discus</i> (in Japanese)Yoshitaka MORIKAWA, Takashi KOIKE and Tsutomu MORINAGA	215
On the interaction between a surface wave and a basic current in the sea IAkira MATSUSHIMA, Akira TOMIZUKA, Masao KOGA and Nobuyuki GOTO	221
On the interaction between a surface wave and a basic current in the sea IIAkira MATSUSHIMA, Akira TOMIZUKA, Masao KOGA and Nobuyuki GOTO	227
Faits divers	
Sea state in relation to apparent high sea surface temperature in the satellite infrared imagery (in Japanese)Shigehisa NAKAMURA	233
Scientific thought as planetary phenomenonGeorgii A. ALEXANDROV	237
Procès-verbaux	195
Sommaire du Tome 33	(1)

第 33 卷 第 3 号

目 次

原著論文

巻網揚網用の新縦型ドラム機構の理論的解析 (英文)	曹 広武・矢田貞美	203
DGPS 的手法による船首方位の測定	中村善彦・宮本佳則・林 敏史	209
クロアワビの夜間行動を抑制する水中の明るさ.....	森川由隆・小池 隆・森永 勤	215
海の表面波と基本流の相互作用について I	松島 晟・富塚 明・後藤信行・古河雅夫	221
海の表面波と基本流の相互作用について II	松島 晟・富塚 明・後藤信行・古河雅夫	227
資 料		
海面状態による衛星赤外画像に見られる見かけの海面水温上昇.....	中村重久	233
惑星現象からの科学思想論 (英文・書評)	Georgii A. ALEXANDROV	237
学会記事.....		239
第33巻総目次.....		(1)