

# 日本海西部における集魚灯漁船の リモートセンシング

杉原滋彦\*<sup>1</sup>・吉田 剛\*<sup>2</sup>

## Remote-sensing of Fishing Boats equipped with Fish-luring Lamp

Shigehiko Sugihara\*<sup>1</sup> and Gou Yoshida\*<sup>2</sup>

Distribution of light from fish-luring lamps of fishing boat in the west of the Japan Sea were obtained from radiance sensed remotely by visible sensor of DMSP satellite. Many bright points are found in the binary image processed under a given threshold of radiance. These bright points often aggregate one another and form patch-like shape. With increasing threshold, the patch area decreases; bright points in a periphery part tend to disappear while those in the central part still remain bright. This suggests that the number of light sources in each pixel, density of light source, is larger in the central part of patch and decreases gradually towards the periphery part on the assumption that fish-luring light intensity for each boat is constant. Accordingly, the threshold determines upper limit of density of fishing boat in each pixel.

Fishing boats estimated from the DMSP are distributed without regard to the agreement line before Japan-Korea Fisheries Agreement which comes into force on Jan. 22, 1999. After the agreement, however, the fishing boats from the south Korea are located near to the line but do not cross over the line. On the other hand, Japanese boats keep at least 5 miles away from the line.

Large patches found to the east of Tsushima island supports the development of good fishing ground which has been well known. Along the 100m isobath off San-in, bright area are observed in August and October but not in January and April. The seasonal difference may be attributed to specific fish species migrating around these area from summer to autumn. Since the first branch of Tsushima Warm Current flows along the 100m isobath, oceanic front may develop between the first branch and coastal waters. This explains the development of fishing ground for the species.

### 1 はじめに

米国の軍事気象衛星であるDMSP (Defence Meteorological Satellite Program) は、約100分で地球を周回する太陽同期の極軌道衛星で、1日2回地上の同一地点を通過し、2機の運用により1日合計4回同一地点を通過する。DMSPにはOLS (Operational Linescan System) 検出器が搭載され、夜間においては、可視・赤外を検出できる可視・近赤外検出器 (VNIR) 以外に、可視光を検出する可視検出器 (VIS: Visible~near Infrared) が稼働している。このVIS (Visible) は夜間において月光に照らされた雲からの光や、市街地の照明からの光などの弱い光も検出できる

ことが、例えばリモートセンシング技術センター<sup>1)</sup>によって報告されている。また、清藤ら<sup>2)</sup>や伊藤ら<sup>3)</sup>が報告しているように、VISは夜間において漁船が使用する集魚灯の光も検出できる。軍事気象衛星であるため、今まで一般の研究者にはこのような弱い光の分布を、広域にわたって得ることは、不可能であった。

従来、夜間の漁船の分布を把握するには、目視観測かレーダ観測以外に有効な方法がなかった。しかし、目視観測はもとより、船舶からのレーダ観測においても、その観測範囲は長くても20km程度に限られるので、一船舶からこれ以上の漁船分布を把握することはほぼ不可能であった。したがって、VISのように、感度の高い検出器の登場によっ

2003年5月15日受付. Received May. 15. 2003.

\* 1 水産大学校海洋生産管理学科 (Department of Marine Science and Technology, National Fisheries University)

\* 2 山口県柳井水産事務所 (Yanai Fishing Management Office of Yamaguchi Prefecture)

て、夜間における集魚灯漁船の分布を広域にわたって把握できるようになったことは画期的である。しかも晴天である限り、毎日衛星資料が取得できる。2機の運用により、同日の異なる時刻に資料が得られるため、広範囲の漁船の分布に加え、その時間的変動を知る有力な手がかりを得たことになる。このことは漁場の位置が把握できる可能性を示し、漁場と海洋環境との関係を研究するためばかりでなく、行政目的で漁船分布の動向を把握するためにも、貴重な情報を与えることになろう。また、レーダによる観測では、すべての船舶が検出の対象となるのに対し、VISでは集魚灯を点灯している漁船のみが対象となるので、集魚灯を使った漁船の分布を知りたいときにはむしろ好都合である。

しかし、地上と衛星間には、大気が存在し、大気の混濁係数が増大すると、地上からの光を減衰させる。この場合には、衛星に到達した光は非常に弱くなり、検出できない可能性もある。

また一方、VISの地上分解能は2.7kmであり、主に昼間に観測する光検出器、例えば日本の資源衛星J-ERS1 (Japanese Earth Resources Satellite) に搭載している光学センサOPS (Optical Sensor) の分解能が約20mであることと比べれば、100倍以上も粗い。分解能が粗いことは、弱い光を検出するためにはある程度不可避なことでもあろうが、一隻ずつの漁船の詳細な分布をとらえることは困難であろう。好漁場には、2.7km四方の中に何隻もの漁船が操業している可能性が大きいためである。したがって、2.7km x 2.7km 四方の1観測画素内に集魚灯漁船が1隻でも存在すれば検出できるものか、あるいは何隻が占めたときにはじめて、VISで検出できるのかということは明確になっていない。

VISから集魚灯漁船分布を推定するには以上のように、大気状態の影響や、各画素内に占める集魚灯漁船の数と輝度との関係が明確になっていない。そこで定量的な集魚灯漁船の分布を推定するための前段階として、本論文では、日本海西部海域を対象域に選び、VIS資料からの光の分布を作製し、それらの分布が今まで知られている漁場と合致するものかどうかを調べた。

## 2 資料及び解析方法

### 2.1 衛星資料の前処理

人工衛星搭載の検出器から送信されてきた信号をそのまま処理して画像化すると、その画像は幾何学的な歪みをも

持っている。これは、人工衛星の姿勢や検出器の走査角の変動、また地球自転の影響により生じる。したがって、幾何学的に正しい画像を得るには、人工衛星資料を解析前に幾何学的に補正しておく必要がある。この幾何補正には、いくつかの方法があるが、本研究では幾何学的歪みをもった原画像上で、半島の突端などのように識別しやすい基準点 (GCP:General Control Point) をいくつか選び、それらに正しい緯度と経度を与えることにより、座標変換の係数を決定した。座標変換には、アフィン変換式を用いた。基準点の数が多ければ多いほど、補正の精度が良くなるので、どの画像でも各々20点以上の基準点をとった。また、近くに島のない海域では識別できる地点が少ないため、基準点をとることが難しいが、できる限り画像全体に基準点が分布するように選んだ。この幾何補正においては、一般に水域と陸域の区別が容易な赤外画像を使った。VISの地上分解能は、約2.7kmであるが、補正後には、1画素を2.5km x 2.5kmの正方形とした。

一例として、1995年10月26日21時07分前後に取得された資料の幾何補正後の赤外画像と、幾何補正に使ったGCPの位置を図1に示す。この画像は西日本が主な対象域であり、幾何補正には30個のGCPを使用した。また図には緯度と経度を与えることにより海岸線も描いた。この海岸線と赤外画像から得られた海岸線とが、ほぼ一致するので、幾何補正が正しく行われたことを示す。

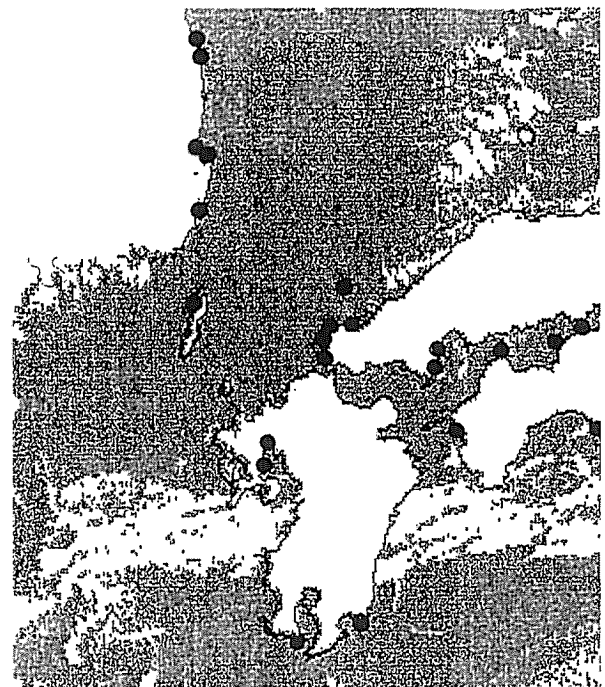


Fig. 1. Locations of GCP used for geometrical correction of original imagery are plotted on thermal imagery of DMSP observed on Oct. 26, 1995.

VISで取得した輝度は0から63までの64段階に量子化され、CCT (Computer Compatible Tape) 値として記録される。CCT値は相対的な光の強さ(相対輝度)で、換算式を使ってCCT値から $\mu\text{w}/\text{cm}^2/\text{str}$ というエネルギー単位の輝度に換算できるが、換算式の定数が不明なため、本研究においては、エネルギーの単位に換算しなかった。しかし以下では便宜的にCCT値を輝度と呼ぶ。

## 2.2. 二値画像

光の分布を画像化する前に、全地域の輝度がどのような分布をしているかを知り、画像化の基礎資料とすることにした。そこで、図1に示した1995年10月26日の全域、 $623 \times 400$ 地点からの輝度度数分布を図2に示す。輝度が4のとき、度数が最大で非常に鋭い山を持つ。これより輝度が増大しても、減少しても度数は急速に減少している。輝度が0のときの度数は少なく最大度数の1/20以下である。また、輝度が1のとき、最大度数の1/5以下である。夜の山岳部や海上には光を発する地域が少なく、暗黒な部分が圧倒的に多いのが一般的である。したがって、ほとんど光を出さない暗黒な地域に相当するところが、輝度4の周辺にあたると考えられる。それらの地域では、地面や海面で反射された月光のような弱い光を発しているのであろう。一方、輝度が5以上のとき、輝度の増大に伴う度数の減少は、輝度が4以下における減少よりも急激ではない。しかし、輝度が20のときの度数は最大値の1/50以下であるように、急激な減少であることには変わりない。但し、20以上においては、輝度の増大に対する減少の割合が減少し、30以上では、ほぼ一定の値をとる。また、輝度の上限である63では度数が大きく、検出器が飽和するほどの強い光が存在する地点が約1.6%とかなり多いことを示す。

以上のように、輝度の度数分布は、輝度4で最大値をとり、前後に向かって急速に減少する分布を示すが、輝度の大きい方に、裾を引く形の分布をしている。輝度が63のときを除けば、暗い地点と明るい地点の二つに山を持つ分布とはならなかった。これは、ほぼ暗黒な部分から検出器が飽和するほど強い光まで、いろいろな強さの光が分布していることになる。測定時の地上分解能は2.7km以上と粗いので、前にも述べたようにこの1画素中に多数の光源が入っても不思議でない。そのため、1画素中に入る光源の数に応じて輝度の変動し、その分布は輝度の大きい方へ裾を引く形となるのであろう。

そこで、輝度に閾値を設定して閾値より大きい小さいだけを区別する二値画像を作製した場合、閾値の変動に

対して光の分布がどのように変動するかを調べた。まず図2より暗黒の地点とそれ以外の地点を区別するため、輝度10を閾値とする二値画像を作製し、それを図3(a)に示す。図1の赤外画像と同じ1995年10月26日に取得された資料である。陸域においては、首都圏、中京圏、関西圏、北九州圏、ソウル圏などの都市域で、広域にわたって光が分布していて、各都市圏の広がりがわかる。また、上述の大都市圏以外でも、日本や韓国の海浜沿いには、比較的大きな町が多く分布しているので、そこから発する人工の光によって海岸線が描き出されて、日本列島や朝鮮半島の形状が容易に認識できる。但し、山陰沿岸に沿って見られる光の大部分は、後述するように陸地の照明によるものではなく、漁船の光によるものである。なお、38度休戦ラインを境に暗黒の北朝鮮と明るい韓国との光量の相違は極めて対称的

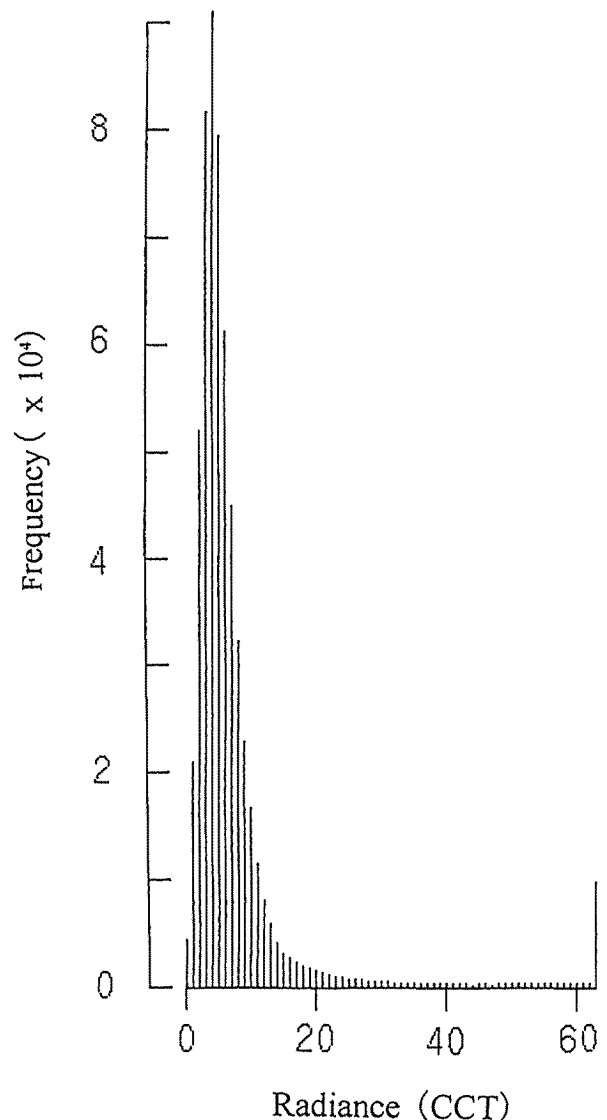


Fig. 2. Frequency distribution of CCT count of visible sensor of DMSP on Oct. 26, 1995

である。

一方、海域を見ると、太平洋は暗く、ほとんど集魚灯を使った漁船は見られないことがわかる。これに対し、対馬周辺海域、玄界灘、韓国東方及び南方海域には、光の強い地点が集団的に分布している。特に、韓国東方海域の輝度の高い分布は、四国と同じ程度の面積をもち広大である。これは、明らかに多数の集魚灯漁船が広い水域にわたって密集していることを示唆する。また、上記以外の日本海の所々にも、光の分布が見られ、太平洋とは対照的に、集魚灯漁船が多いことがわかる。

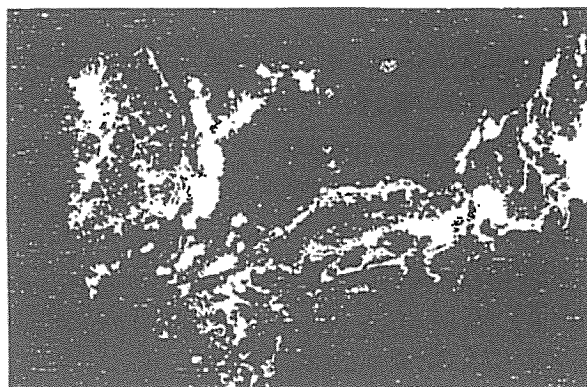
次に、図2で輝度4に山をもつ分布のすそにあたる輝度23を、及び非常に明るい地点として輝度50を選び、それらを閾値として二値化した画像を、それぞれ図3(b)と図3(c)に示す。図3(a)と比較して、当然のことながら閾値を大きくするにしたがい、明るい部分の面積が少なくなる。しかし、大きな面積を持った光の集団は、海域でも陸域でも、閾値の増大に伴い周辺部が黒くなるが、中心部は依然として白く残っている。これは韓国東方海域や大都市圏で顕著である。中心部では光が減少しにくいことは、明らかに中心部ほど光源が密集して、周辺域に向かうほど粗となるためであろう。

以上の結果から判断すれば、閾値を極端に大きくしたり、極端に小さくしない限り、適当な閾値を使って集魚灯の光を検出できる。したがって、どういう集魚灯の強さを対象とするかによって閾値を変えればよいことになる。閾値を大きくとれば、強い集魚灯の光だけを検出するというよりも、むしろ1画素内の集魚灯の数が多き地点を検出しているであろう。これは、1隻の漁船の集魚灯の強さには大きな変化がないと考えるからである。この輝度の変動の要因については、船舶から直接得られる漁船分布の資料と比較して、今後研究を進める必要がある。

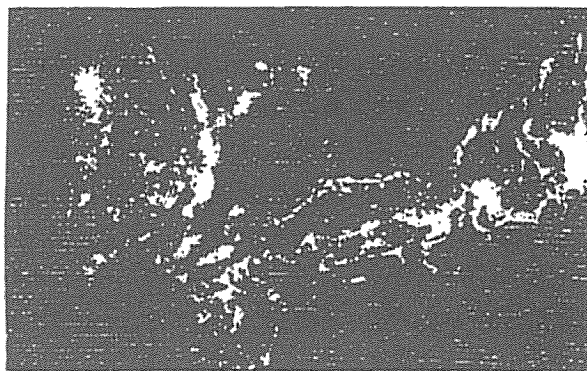
### 3 結果及び考察

#### 3.1 日韓漁業協定締結前後の漁船分布

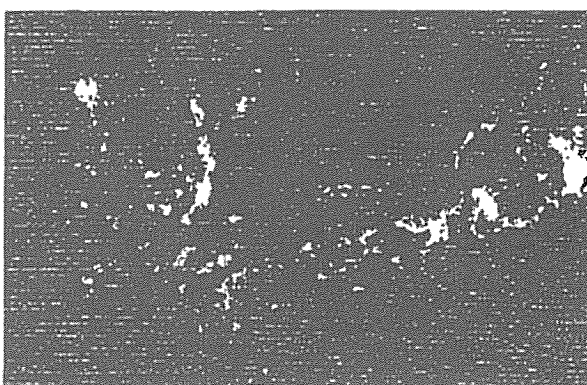
日韓漁業協定は1999年1月22日に発効した。この協定により両国間に排他的経済水域の境界線が設定され、また竹島などの帰属にからみ、境界線の設定に問題がある海域については、暫定的な協定水域が設定された。伊藤ら<sup>3)</sup>は協定発効前後にあたる1月13日と4月14日のVIS画像を比較して、集魚灯漁船分布の変化を調べた。協定前では協定線に関係なく分布していたのが、協定後には両国の漁船が、自国領域内で操業した。そこで、本研究でも同じように、



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Binary image of light distribution observed on Oct. 26, 1995, over the western Japan and Korea. Threshold CCT counts are chosen as 10, 23 and 50 in Figure (a), (b), and (c), respectively.

協定前の1995年10月26日と1999年1月13日における分布と、協定後の1月26日と4月14日における分布と比較した。

上に述べたように、ほぼすべての閾値の下で作製した二値化画像でも、それに応じた集魚灯の分布を見ることができる。ただ、閾値を大きくとれば、それに応じた強い光の分布が、二値化画像に反映される。しかし、ここではより

詳細に光の強度分布を知るために、輝度の大きさを7段階の色調に分けて示した。また、海岸線と協定線、暫定水域を白線で描いた。

協定前の1995年10月26日と1999年1月13日の西部日本海を中心とする地域における光の分布を、それぞれ図4(a)と図4(b)に示す。両日共に、九州西方海域から西部日本海にわたる広い海域に、多くの集魚灯使用漁船が分布している。特に、韓国東方海域と対馬東岸沖においては、両日共に、集魚灯漁船が広域にわたって密集している。一方、10月26日において対馬と山口県の間地点付近の海域で見られる集魚灯漁船の密集状態は、1月13日にはほとんど見られない。

協定線付近における集魚灯漁船に注目すると、協定線をまたがる光の分布が明確に見られる箇所があり、漁船は協定線に関係なく操業しているように見える。例えば10月26日と1月13日の両日において、釜山東方でかつ対馬北方の海域で、北方からの漁船の密集が協定線を越えて分布している。また、1月13日においては韓国東方の暫定水域付近でも、また対馬西南西の海域でも協定線上に分布している。上記のいずれの海域においても、韓国側で密集している光の集団から協定線を越えて日本側水域に伸びているように見えるので、協定線を越えて入り込んでいるのは、韓国の漁船であろう。

一方、協定発効後の1999年1月26日と4月14日における

同様の光分布を、それぞれ図5(a)と図5(b)に示す。協定発効前と同様、韓国東方海域、対馬東岸沖においては、集魚灯の密集が見られ、これらの海域では季節に依らず好漁場が形成されていることを示唆する。釜山東方で対馬北方の海域で、協定発効前に見られたような、北方からの協定線を越えた光は、協定線上近くまで達しているものの、何とか協定線で踏みとどまっている。但し、1月26日も4月14日においても対馬西方の協定線の東側に、僅かではあるが、光が認められる。また4月14日の対馬北方の協定線の南側にも、光が点在している。これらの点在する光は、ほとんどが韓国側の光の密集地点から分離されているものの、密集地点からの距離は僅かであるので、韓国の漁船であろう。しかし、これらが日本の集魚灯漁船でないとは断定できない。もし、これらが日本漁船でないとする、協定線より日本側の海域においては、集魚灯漁船が協定線から近くても5海里は離れた距離に分布して、協定線上に近づいていない。このことは、日本の漁船が韓国の漁船より、非常に警戒しているように見える。以上のように、発効後は両国漁船ともほぼ協定線の自国側で操業し、協定がなんとか守られていることを示し、伊藤ら<sup>3)</sup>が得た結果と一致する。

なお、図4と図5の相異なる日に得られた画像には、明確な光分布が見られるので、晴天であれば集魚灯漁船の分布が得られる可能性が大きいことを示唆する。

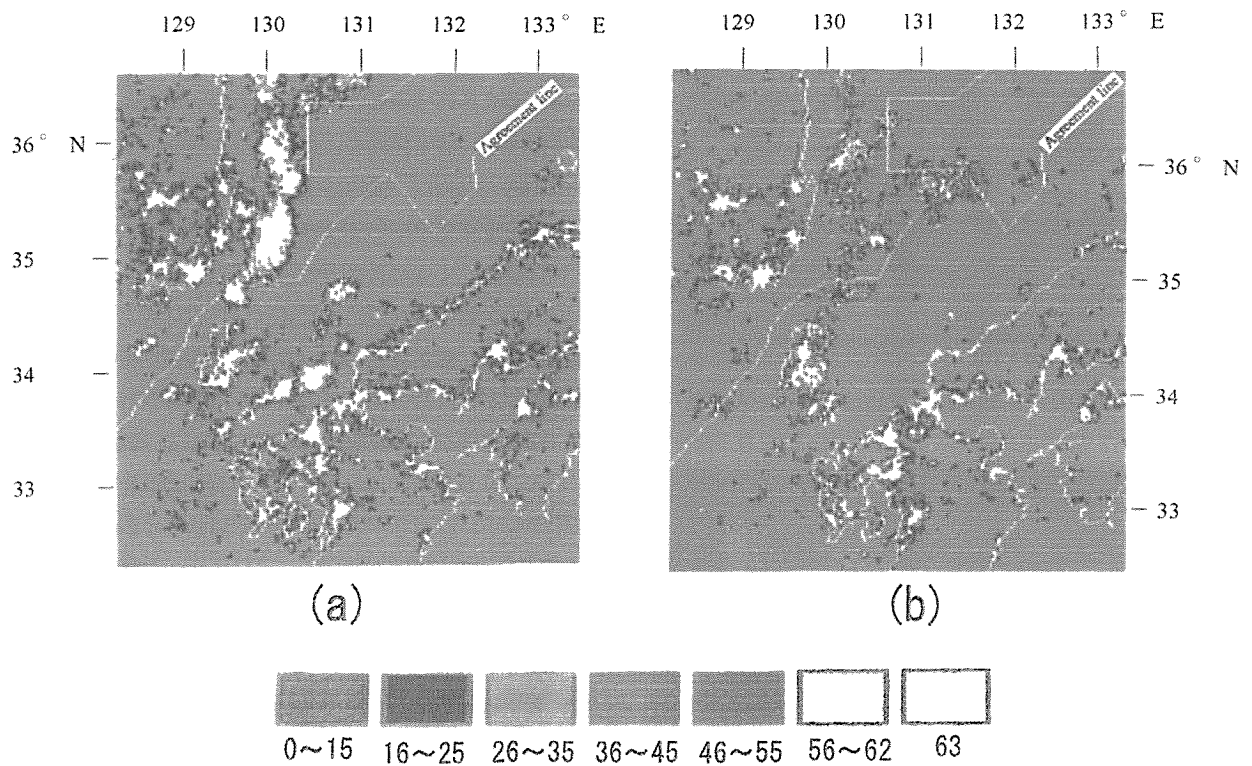


Fig. 4. Light distribution in and around the western part of the Japan Sea before the Japan-Korea Fisheries Agreement. The data were collected on Oct.26, 1995 (a) and Jan.13, 1999(b).

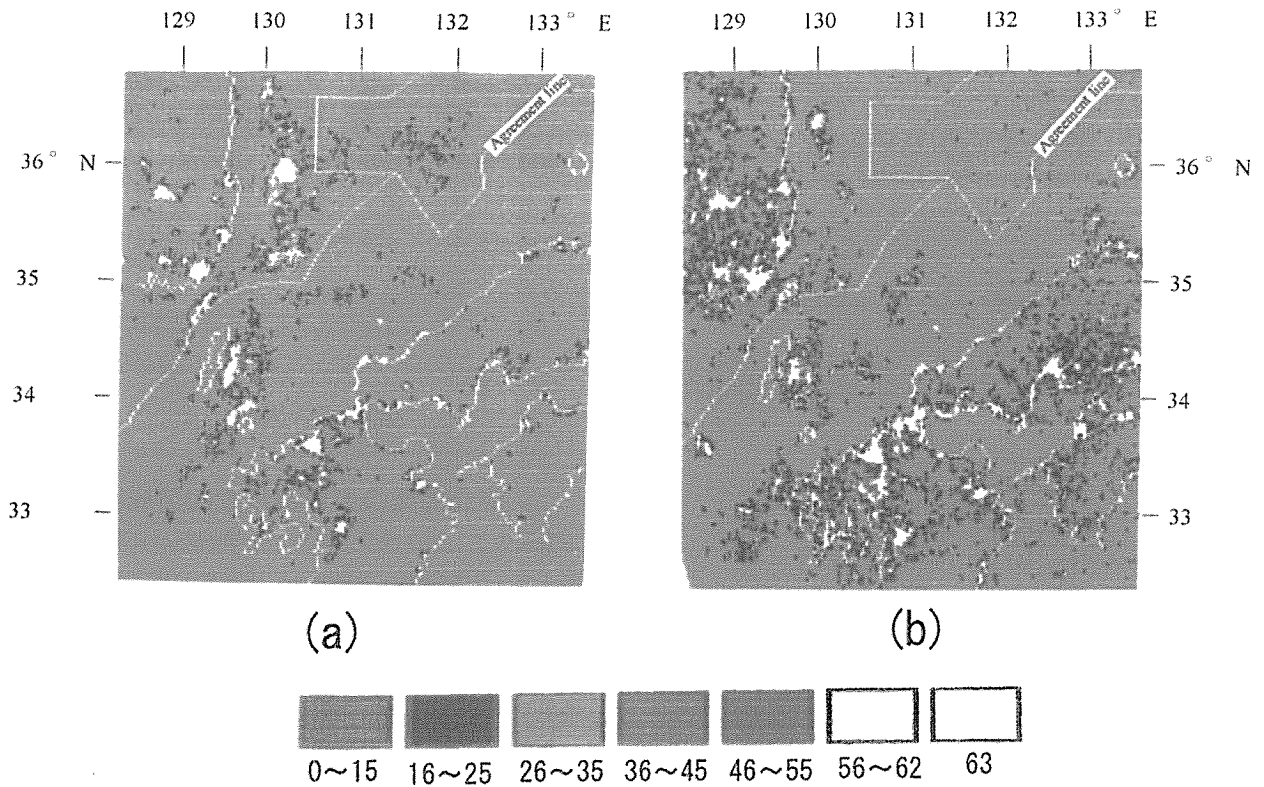


Fig. 5. Light distribution in and around the western part of the Japan Sea after the Japan-Korea Fisheries Agreement. The data were collected on Jan.26, 1999 (a) and Apr.14, 1999(b).



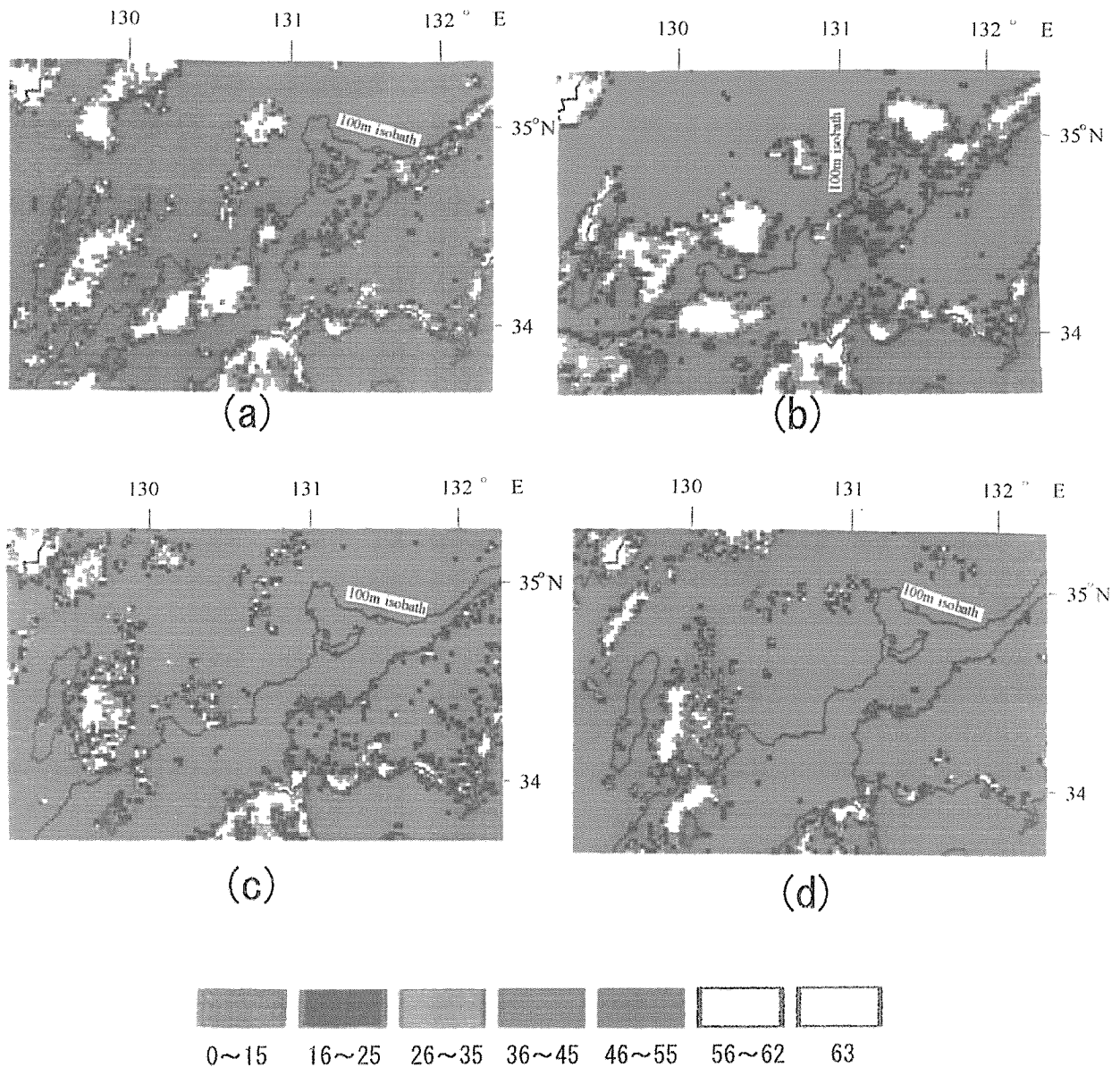


Fig. 6. Light distribution off the coast of San-in observed on Oct.26, 1995 (a), Aug.28, 2000 (b), Jan.26, 1999 (c) and Apr.14, 1999 (d).

### 3.2 対馬東沖と山陰沖の漁船分布

上に述べたように、日韓漁業協定前後の相異なる日に得られた光の分布を比較すると、いずれの日においても、日本側水域では対馬東方沖でやや規模の大きな光が密集している。日によってその地理的位置には若干の変動があるものの、この海域では以下にも述べる通り好漁場が形成されることを示唆する。

この海域は古くから好漁場となることが報告されている。例えば、森<sup>1)</sup>は対馬東方や九州西岸の複雑な地形により、多くの湧昇流や渦流が発生したり、また沿岸水との間に潮境が形成されるため、好漁場となることを指摘し、対馬東方海域の北側ではマサバ、南側ではスルメイカの漁場

が形成されることを述べている。これらを対象魚として夜間に操業する漁船は集魚灯を使用するのが普通であろう。そのため、光の分布もこの海域に密集するのであろう。

前に、図3の1995年の1月26日における山陰海岸線付近の光は、陸の照明によるものでなく、主に漁船の集魚灯によることを述べた。図4(a)を見れば、明らかに海岸線より海側に光が分布しているのも、このことは明瞭である。特に島根県と鳥取県の県境付近の北方沖には、比較的広い光の集団が分布している、これらは海岸線から約8海里も離れている。この海岸線には、西より松江、米子、鳥取などの市があり、画像上にもそれらの位置が明確に認められるので、幾何補正上には問題のないことがわかる。また、

山口県から島根県西部に至る海岸線付近には光の分布が、海域か陸域のどちらに属するかは、この図においては余り明確でない。

そこでこの地域を拡大したのが、図6である。図6(a)では、山口県から島根県の海岸線に沿った光のほとんどは海上にあり、集魚灯漁船が多く分布していることを示す。島根県の沖合約2.5海里には強い光の分布が、長い距離にわたって島根半島沖に向かって伸びている。この光の分布は、島根半島沖合から、前に述べた図4(a)における鳥取県沖の東西に長い光の分布に連なっている。一方、山口県日本海の2~3海里沖には、集魚灯漁船の分布が見られる。但し、島根県沖の光よりもやや弱い。また、その北方の見島周辺にも光が見られるが、これも余り強くはない。さらに山口県北西に位置する角島からさらに北西5海里の水域には、やや強い光の集団が見られる。これよりやや離れて南南西の響灘から玄界灘には広い範囲にわたって強い光が密集している。

図には100mの等深線も示したが、上に述べた光の多くがこの等深線近くに分布している。このことは、図6(b)の2000年8月28日の集魚灯漁船の分布を見ると、より顕著である。島根県沖の北東か南西方向に細長く分布する漁船群は密で、ほぼ100m等深線のやや北に位置している。また、山口県北方の強い光も100m等深線上にそって分布している。さらに対馬南方の100m等深線上にも規模の大きい漁船の密集が見られる。しかし、図6(c)と図6(d)に示すように、それぞれ1999年1月26日と1999年4月14日においては、100m等深線に沿った水域には漁船がほとんど見られない。100mの等深線に沿って、8月と10月には、漁船の密集が見られたのに対し、1月と4月にはほとんど漁船が見られないことは、対象魚種が1月と4月には現れず、8月や10月に集積するためであろう。

Hase<sup>5)</sup>によれば、対馬暖流の第1分枝は、山陰沖の100m等深線のやや北側を流れている。したがって、この第1分枝と沿岸水との間で潮境が発達し、そこに好漁場が形成される可能性が大きい。この潮境はほぼ100mの等深線に沿って位置するので、集魚灯漁船が集中しているであろう。しかし、未だ資料数が十分でないので、今後、いろいろな季節で得られた資料を基にして調べる必要がある。

#### 4 おわりに

DMSPに搭載されている可視光検出器(VIS)が取得し

た夜間の西日本を中心とする海域における集魚灯漁船の分布を調べた。

まず、輝度に閾値を設けて二値化し、二値画像を作製した。閾値を大きくするにしたがい、当然光の面積は減少するが、大都市や集魚灯漁船が多く集まる地域では周辺部において光が減少するが、中心部においては、依然として光が残っている。これは光源の密度が中心部で大きく、周辺部で小さくなることを示す。したがって、閾値を変動させるとそれに応じた光の密度分布が得られる。

また異なる日に得られた二値画像を調べた結果、厚い雲に覆われていない限り、集魚灯の光が検出できることを示唆した。

次に日韓漁業協定前後における日本海西部の集魚灯漁船分布を比べたところ、協定前には韓国籍と思われる漁船が、協定線を越えて日本側に入り込んでいる場合があったが、協定後の韓国漁船は、ほぼ協定線を越えず分布している。

一方、協定後の日本漁船は、協定線から少なくとも5海里以上離れた日本側水域に分布して、十分警戒しているように見える。

対馬東沖には、いずれの日においても、集魚灯漁船の密な分布が見られ、以前より指摘されていた好漁場が形成されることを、支持する。

また、山陰沖の2~3海里には、集魚灯漁船が、8月と10月に見られるが、1月と4月には見られない。また、この漁船の分布は、対馬暖流の第一分枝の流路である100m等深線の近くに沿って分布していることがわかった。

## 文 献

- 1) リモート・センシング技術センター：衛星画像で見る日本，古今書院，東京，1997，p.154.
- 2) 清藤秀理・斉藤誠一・桜井泰憲・甫喜本司・米田国三郎・長幸平：津軽海峡周辺海域におけるイカ漁船の分布特性，1999年度日本海洋学会秋季大会講演集，pp. 257-257.
- 3) 伊藤涼・長幸平・下田陽久・坂田俊文・斉藤誠一：DMSP/OLS夜間可視画像が捉えた点灯漁船の分布から見た新日韓漁業協定の効果評価，写真測量とリモートセンシング，41，39-46 (2002).
- 4) 森勇：対馬暖流——海洋構造と漁業，恒星社厚生閣，東京，昭和49年，p. 158.
- 5) Hase, H., J-H. Yoon and W. Koterayama: The current



structure of the Tsushima warm current along the Japanese coast. *Journal of Oceanography*, 55, 217-235 (1999).