

# 日本列島周辺のプレート境界域の地殻構造

日野亮太<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

日本列島は、収束型プレート境界に位置しており、海陸のプレート間での相互作用がその構造発達史を支配していると考えられる。とりわけ、日本列島周辺の海陸の境界領域では、こうしたプレート間の相互作用に起因する活発な地殻活動が現在も進行している。こうした地殻活動でも顕著なものが地震活動である。

日本列島の東ないし南側では、沈み込む海洋性プレート(太平洋プレートあるいはフィリピン海プレート)とのプレート境界で低角逆断層型の巨大地震がしばしば発生するとともに、定常的にも活発な微小地震活動がみられる。一方、背弧側にあたる日本海東縁でも、マグニチュード7を超えるような地震が発生し、「新生プレート境界」が提唱されるに至っている(中村,1983)。こうした領域の定常的な地震活動は決して高くはないが、1983年日本海中部地震や1993年北海道南西沖地震の余震活動は相変わらず活発であり、この領域の地震活動を特徴づけている。また、地震観測網の整備が進んでいないため、明瞭ではないが、沖縄トラフにおいても浅発地震の活動は比較的高い。沖縄トラフは、現在背弧拡大へと移行中のリフト帯であると考えられているが、こうした地震活動はそれと関連したものであろう。

海陸の境界領域における地殻・地質構造はこのような活発な地殻活動を反映したものであると同時に、こうした構造が現在進行中の地殻活動を何らかの形で規定しているものと考えられるため、海陸境界域の構造の詳細な解明は、日本列島のテクトニクスを理解する上で重要である。

## 2. 構造モデルのコンパイル

日本列島周辺では、1970年代以前から多くの海底人工地震探査が実施されてきている。特に1980年代以降は数多くの自己浮上式海底地震計を探査に使用することができるようになり、より深部までのより詳細な地震波速度構造モデルが得られるようになってきた。

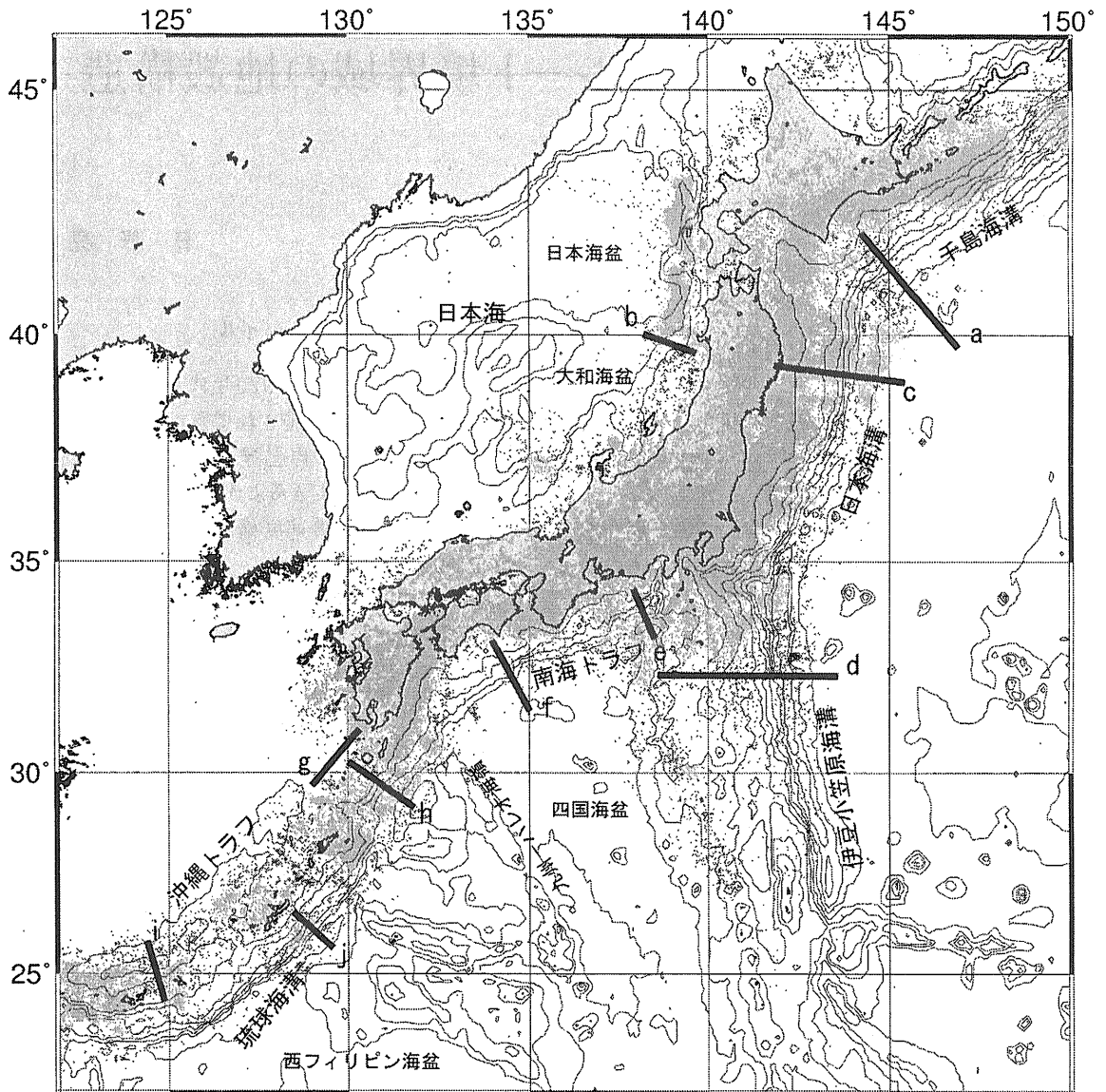
本稿は、こうした海陸境界域においてこれまで得られた構造モデルのうち、特に海底地震計を用いた屈折法人工地震探査の結果を集めたものである。背景となるテクトニクスの違いを考え、1) 太平洋プレートが沈み込む千島・東北日本・伊豆小笠原弧、2) フィリピン海プレートが沈み込む西南日本・琉球弧、それぞれの前弧域と、3) 背弧域の3つの領域にグループ分けして、口絵1頁にまとめた。

口絵1頁に示した断面の位置は第1図に、気象庁による微小地震の震源分布とともに示した。これらの断面は、第1表に示した研究により得られた2次元P波速度構造モデルを基に、すべてを同縮尺・縦横比(2:1)になるように編集した。日本海溝三陸沖(口絵1頁-c)については、複数回の探査結果を集めて断面図を作成したものであるが、それ以外は、1回の地震探査で得られたもので、断面図の幅と同じ長さの探査測線により得られた結果である。

日本海溝三陸沖でも、他の海域と同様な連続する2次元深部構造モデルを得るための探査が最近行われ、その解析結果は解析中である(Fujie et al., 1998)。ここでは、それを補うため、過去に実施された探査結果をコンパイルしたものに、海陸プレート境界及び、海洋性地殻内部から、あるいは島弧のモホ面からの反射波から推定した各反射面の深

1) 東北大学大学院理学研究科：  
〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉

キーワード：海陸プレート境界、地震波速度構造、海底地震計



第1図 口絵に示した深部地殻構造断面図の位置. 気象庁による1980~1997年の震央分布をあわせて示した. 海底地形を示す等深線の間隔は1,000m.

さと, 1994年三陸はるか沖地震の余震分布 (Hino *et al.*, 1999) を合わせて作図したものを示した.

各断面のモデルは, 多層構造であり, 各層内でのP波速度分布が得られている. 探査データの解析ではそれぞれの層内において水平・鉛直方向ともに速度の変化を許して, 観測された人工地震波の走時が最もよく説明できるようなモデルが求められている. しかし, ここでは各領域における構造の特徴の比較を容易にするために, 得られているP波速度を基準にした層の分類基準を設けて, 各地

殻構造断面を構成する各層の色分け(分類)を行った.

海底地震探査の場合, ごく限られた場合にしかS波速度を求めることができないことが多く, ここで示した断面でも, すべての海域で共通に比較することができるのはP波速度構造のみである. P波速度だけから, それぞれのモデルを構成する層を一義的に解釈することは困難であるが, こうしたモデルを得た各論文では, 地質学的な背景などをもとに各層を構成する物質についての解釈が成され

ている。そこで、こうした解釈をもとにして、異なる海域で、同等もしくは類する物質から構成されると解釈された層が、同じ層として分類されるように、P波速度による分類基準を設けた。分類した各層のもつP波速度の範囲と、その層に対する大まかな解釈を各図の凡例に示してある。色を付けていない部分は、海水層または最上部マントル層、あるいは探査によってP波速度を求めることが得られなかった部分である。

地震波速度構造モデルを求めるのに用いた屈折法地震探査の制約により、断面図中で色が付いている部分でも、断面の両端の深部は十分な精度で求められていないことが多いので注意を要するが、深さ20kmまでの範囲であれば、どの断面図においても精度良く構造が求められていると考えて良い。各断面図でのP波速度の精度は、それぞれの探査で用いたデータの質に依存するので、それぞれ異なると考えられるが、本稿で用いるような大まかな層の分類を行うには十分な精度があるものと考えられる。また、各層の境界面の形状は、こうした境界面からの広角反射波の走時を用いて求められたものがほとんどであるため、上述のような断面図の両端深部を除けば、信頼できるものである。なお、各層の厚さの絶対値には1km程度の誤差(P波速度の推定誤差に起因する)があるものと考えられる。

このようにしてコンパイルした海陸境界域の地殻構造断面を比較することにより、それぞれの領域での類似点・相違点について、明瞭な海洋性プレートの沈み込みがみられる前弧域と、背弧拡大あるいはその後のテクトニックな変動の影響を受けている背弧域に分けて概観する。なお、各海域で得られた構造モデルの、その海域におけるテクトニクス的な位置づけについては、データの出所となったそれぞれの原論文を参照されたい。

### 3. 前弧域 -太平洋/フィリピン海プレート沈み込み帯-

はじめに、海溝軸のすぐ陸側の構造に注目する。こうした部分では、沈み込みを開始した海洋性地殻が海底下のごく浅い部分にあるため、その構造は人工地震探査によって精度良く求めることがで

きていると考えられる。この部分での海洋性地殻の陸側プレート下へ沈み込む傾斜の角度は、すべての沈み込み帯でほぼ共通しておよそ5~10度程度であり、それぞれの海溝の陸側斜面での海底面の平均的な傾斜角度とほとんど変わらない。

一方、日本周辺のこうした沈み込み帯では、震源分布から沈み込む海洋性プレートの傾斜角度が推定されている。こうした沈み込み帯で発生する地震の震源深さ分布は、海溝から陸側に向かって深くなるような分布を示しているが、プレート境界で発生する低角逆断層型のメカニズム解を持つ地震、あるいは沈み込む海洋性プレート内で発生する地震であると考えられていて、こうした地震の震源分布が沈み込む海洋性プレートの形状を反映したものであると考えられている。こうした震源分布から推定される海洋プレートの傾斜角度は、いずれの沈み込み帯でも、構造探査により海溝近傍で明らかとなった傾斜角度より有意に大きく、海洋性プレートが海溝で沈み込んだ後、その傾斜角度を大きく変化させていることを意味する。つまり、海洋性プレートは陸プレートの下に沈み込むときにbendingを受けるが、その曲率が最大になるのは、海溝軸よりも陸側にあることになる。こうした沈み込む海洋性プレートの屈曲点は、少なくとも日本周辺の沈み込み帯で共通した特徴のようである。

海溝より陸側での海洋性プレートの屈曲が最も明瞭にみられるのは、日本海溝三陸沖である。この海域では、海底地震計を用いた自然地震観測により、プレート境界で発生する地震の詳細な震源分布が決定されており、海溝軸からおよそ100kmの位置でプレート境界あるいは海洋性プレートの傾斜角度が急変していることが明らかとなっている。

同様な傾斜角度の急激な変化は、フィリピン海プレートが沈み込む、南海トラフ、琉球海溝では、地殻構造断面で認めることができる。これらの地域で、傾斜角度の変化がみられるのは、海溝から陸側およそ50kmまでの範囲である。

一方、千島・日本・伊豆小笠原のそれぞれの海溝陸側斜面下では、地殻構造断面からはこうした傾斜の明瞭な変化はみられない。海溝から50kmまでの範囲ではこれらの海域でも十分な精度でプレート境界までの構造が決まっていると考えられるため、海洋性プレートの沈み込み角度の変化は、こ

第1表 地殻構造断面コンパイルにあたり引用した研究.

口絵1頁記号	海域名	引用文献
a)	千島海溝	Iwasaki <i>et al.</i> (1989)
b)	日本海東縁・秋田沖	Nishizawa and Asada (1999)
c)	日本海溝・三陸沖	Asano <i>et al.</i> (1982) 金澤・他 (1985) Suyehiro and Nishizawa (1994) 高橋・他 (1998) 日野・他 (1998) Fujie <i>et al.</i> (1998) Hino <i>et al.</i> (1999) =震源分布
d)	伊豆小笠原島弧	Takahashi <i>et al.</i> (1998) Suyehiro <i>et al.</i> (1996)
e)	南海トラフ東部・銭洲	Nakanishi <i>et al.</i> (1998)
f)	南海トラフ西部, 室戸沖	Kodaira <i>et al.</i> (1999)
g)	沖縄トラフ北部	Iwasaki <i>et al.</i> (1990)
h)	琉球海溝北部	Iwasaki <i>et al.</i> (1990)
i)	沖縄トラフ南部	Hirata <i>et al.</i> (1990)
j)	琉球海溝中部	Kodaira <i>et al.</i> (1996)

うした太平洋プレートの沈み込み帯では、海溝からおよそ100kmに屈曲点のある日本海溝のように、フィリピン海プレートの沈み込み帯よりも陸側に存在するものと考えられる。

一方、沈み込む海洋性地殻の厚さに注目すると、千島・日本・伊豆小笠原海溝で沈み込んでいる太平洋プレートの地殻には顕著な地域性はみられないのに対して、南海トラフ・琉球海溝で沈み込む海洋性地殻の厚さには明瞭な地域差があることがわかる。フィリピン海プレートは、背弧拡大の繰り返しにより成長してきたと考えられており、拡大時期の異なる小海盆(四国海盆・西フィリピン海盆など)から構成されている。これらの小海盆の拡大軸は大局的には、南海トラフ・琉球海溝と直行する方向にあるため、こうした沈み込み帯に沿った海洋性地殻の厚さの変化は、小海盆ごとの、あるいは形成時期の違いによって海洋性地殻の厚さが異なっていると解釈することができる。

次に、海陸のプレート境界より上盤側の構造を比較してみる。

フィリピン海プレートの沈み込む南海トラフ・琉球海溝では、海溝陸側斜面の前縁に低地震波速度の堆積物がプリズム状に存在し、付加体の発達をみることができる。こうした付加体堆積層の厚さに注目すると、南海トラフに沿って西に向かって厚さを

増し、琉球海溝では南に向かって薄くなっていく傾向があるように見える。日向灘で行われて地震探査の結果は、海溝陸側斜面下に低速度堆積物が極めて厚く存在することを示し、付加体が西部南海トラフ(室戸沖)や琉球海溝北部よりも発達しているように思われる。南海トラフの付加体を構成する堆積物の多くは、伊豆小笠原弧と東北日本弧の衝突帯からトラフ軸に沿うように供給されると考えられている。上記のような付加堆積物の厚さの変化は、日向灘で九州と衝突している九州-パラオ海嶺が、トラフに沿った堆積物の流れをせき止めるような働きをしていることを示唆するのかもしれない。

太平洋プレートが沈み込む日本・伊豆小笠原海溝の付加体は、上述の西南日本弧に比べると、有意に小さいかほとんど存在しない。伊豆小笠原海溝の海溝陸側斜面に存在する低速度の物質は、蛇紋岩ダイアピルと解釈されている。蛇紋岩ダイアピルは、屈折法地震探査の結果得られるP波速度からだけでは、堆積物との区別が困難であるが、反射法地震波探査の記録上でこの部分は音響的に極めて不透明で明瞭な層構造が見えないこと、深海掘削により蛇紋岩のサンプルが得られていることなどから、こうした解釈が成されている。

一方、同じ太平洋プレートが沈み込む千島海溝では、海溝陸側斜面下には厚い堆積層がみられ、

千島弧と、隣接する東北日本弧の間では発達過程に顕著な相違があることがうかがわれる。

こうした海溝陸側に存在する低速度堆積層の広がりや違いは、海溝軸と島弧地殻が現れる場所までの距離の違いにも反映する。付加堆積物の少ない東北日本・伊豆小笠原島弧では、海溝軸の50km程度陸側から島弧の地殻が沈み込む海洋性地殻と接しはじめるのに対して、西南日本や琉球島弧では、海溝軸よりもっと陸側までいかないと島弧地殻が海洋性プレートに接するようにはならない。

#### 4. 背弧域 —沖縄トラフと日本海東縁—

口絵1頁-g), i)は、琉球島弧の背弧側に発達する沖縄トラフ及び、東北日本弧の日本海側の海陸遷移域、いわゆる「日本海東縁」と呼ばれる海域における地殻構造断面である。

沖縄トラフは、現在進行中の背弧拡大に至るプロセスにより形成された地形と考えられているが、トラフ軸に直行する地殻構造断面である南部沖縄トラフでの断面は、トラフ中軸に向かって上部地殻が顕著に薄くなっており、この領域において地殻の伸展が進んでいることを強く示唆する。しかし、トラフ中軸部においても、海洋性地殻の特徴的な構造はみられないため、海底拡大には未だ至っていないと解釈されている。残念ながら、測線の長さが十分ではないため、たとえば地殻の厚さなど、トラフの中央へ向かって地殻全体の構造がどのように変化しているかはよく分からない。

こうした沖縄トラフのリフティング活動は、南ほど進んでいると考えられている。沖縄トラフ北部の構造断面は、トラフの走向に沿った方向のものであるが、南部に向かって地殻が薄くなる傾向にあることが示されていて、こうした考えを支持するものである。

一方、背弧における海底拡大をすでに経験した、東北日本や伊豆小笠原の構造断面をみると、海陸遷移域における急激な地殻構造の変化がみられる。

日本海東縁の断面は、秋田沖で得られたもので、大和盆地と東北日本弧の遷移域に相当する。また、伊豆小笠原弧の断面は、海溝の海側から背弧域ま

での広い領域をカバーする断面であり、この島弧における背弧の地殻構造の変化をみる事ができる。

これらの島弧では、急激な地殻の厚さの変化が共通してみられ、20km以上の厚さをもつ島弧の地殻は50km程度の水平距離の間に海洋性地殻とほぼ同じ厚さ(10km以下)にまで薄くなっている。しかし、地殻内部の構造に注目すると、その変化の様子は大きく異なり、東北日本弧では、上部地殻が地殻厚さの薄化のほとんどを担っていて、下部地殻層の厚さの変化はあまり顕著ではないのに対して、伊豆小笠原弧の方では下部地殻の薄化が顕著である。

こうした違いは、東北日本と伊豆小笠原の島弧としての成り立ちの違い(大陸縁辺の島弧と海洋性島弧)によるものなのか、背弧拡大におけるリフトのモードの相違(simple shearとpure shear)によるものなのかは、現段階ではよく分からないが、非常に興味深い。

沖縄トラフでは、先述のように海底拡大に至っていないため、東北日本や伊豆小笠原島弧でみられるような大規模な地殻の薄化がみられず、従って、トラフ下の比較的広い範囲でモホ面に顕著な厚さの違いがみられないのであろう。なお、沖縄トラフの南部・北部の地殻構造断面をみると、日本海東縁でみられるように、地殻が薄くなるのは、主として上部地殻の厚さの変化が原因であるように見える。

#### 文 献

- Asano, S., Yamada, T., Suyehiro, K., Yoshii, T., Misawa, Y. and Iizuka, S. (1982): Crustal structure in a profile off the Pacific coast of northeastern Japan by the refraction method with ocean bottom seismometers, *J. Phys. Earth*, 29, 267-281.
- Fujie, G., Kasahara, J., Sato, T., Koresawa, S., Mochizuki, K., Ito, S., Hino, R., Shinohara, M. and Suyehiro, K. (1998): Heterogeneous crustal structure and its relation to seismic activities in forearc slope of Japan Trench using ocean bottom seismometers, *EOS*, 79, f605.
- 日野亮太、かいれいKR97-17航海・淡青丸KT97-17次研究航海乗船研究者(1998): エアガンによる東北日本弧前弧域の地殻構造探査、地球惑星科学関連学会合同大会予備集、362。
- Hino, R., Ito, S., Shiobara, H., Shimamura, H., Sato, T., Kanazawa, T., Kasahara, J. and Hasegawa, A. (1999): Aftershock Distribution of the 1994 Far-off Sanriku Earthquake (Mw 7.7) Revealed by Ocean Bottom Seismographic Observation, *J. Geophys. Res.* (submitted).

- Hirata, N., Kinoshita, H., Katao, H., Baba, H., Kaiho, Y., Koresawa, S., Ono, Y. and Hayashi, K. (1990) : Report on DELP 1988 cruise in the southern Okinawa Trough, PartIII, Crustal Structure of the Okinawa Trough, Bull. Earthq. Res. Inst.,
- 市川 岳 (1987) : 海底地震計を使った日向灘周辺の地殻構造研究, 北海道大学修士論文, 56pp.
- Iwasaki, T., Shiobara, H., Nishizawa, A., Kanazawa, T., Suyehiro, K., Hirata, N., Urabe, T. and Shimamura, H. (1989) : A detailed subduction structure in the Kuril trench deduced from ocean bottom seismographic refraction studies, *Tectonophysics*, 165, 315-336.
- Iwasaki, T., Hirata, N., Kanazawa, T., Melles, J., Suyehiro, K., Urabe, T., Moller, L., Makris, J. and Shimamura, H. (1990) : Crustal and upper mantle structure in the Ryukyu Island Arc deduced from deep seismic sounding, *Geophys. J. Int.*, 102, 631-651.
- 金澤敏彦・末広 潔・平田 直・岩崎貴哉・島村英紀・西澤あずさ・ト部 卓 (1985) : 日本海溝の陸側海溝斜面下の速度構造, 地震学会講演予稿集, no. 2, 239.
- Kodaira, S., Iwasaki, T., Urabe, T., Kanazawa, T., Egloff, F., Makris, J. and Shimamura, H. (1996) : Crustal structure across the middle Ryukyu trench obtained from ocean bottom seismographic data, *Tectonophysics*, 263, 39-60.
- Kodaira, S., Takahashi, N., Park, J., Mochizuki, K., Shinohara, M. and Kimura, S. (1999) : The western Nankai Trough seismogenic zone : Result from wide-angle ocean-bottom seismographic survey, *J. Geophys. Res.*, submitted.
- Nakanishi, A., Shiobara, H., Hino, R., Kodaira, S., Kanazawa, T. and Shimamura, H. (1998) : Detailed subduction structure across the eastern Nankai Trough obtained from OBS profiles, *J. Geophys. Res.*, 103, 27151-27168.
- Nishizawa, A. and Asada, A. (1999) : Deep crustal structure off Akita, eastern margin of the Japan Sea, deduced from ocean bottom seismographic measurement, *Tectonophysics*, 306, 199-216, 1999.
- Suyehiro, K. and Nishizawa, A. (1994) : Crustal structure and seismicity beneath the forearc off northern Japan, *J. Geophys. Res.*, 99, 22331-22347.
- Suyehiro, K., Takahashi, N., Arie, Y., Yokoi, Y., Hino, R., Shinohara, M., Kanazawa, T., Hirata, N., Tokuyama, H. and Taira, A. (1996) : continental crust, crustal underplating, and low-Q upper mantle beneath an oceanic island arc, *Science*, 272, 390-392.
- Takahashi, N., Suyehiro, K. and Shinohara, M. (1998) : Implications from the seismic crustal structure of the northern Izu-Ogasawara arc, *Island arc*, 7, 383-394.
- 高橋成実・小平秀一・鶴 哲郎・朴 進午・金田義行・木下 肇・西野 実・日野亮太・阿部信太郎 (1998) : エアガン-海底地震計データによる東北日本弧前弧域 (三陸沖) の速度不均質構造, 日本地震学会講演予稿集, P160.

---

HINO Ryota (1999) : Crustal structure of plate boundary zones around Japan.

---

< 受付 : 1999年8月2日 >