

### 3.2 衛星画像解析による津波被害の波及範囲の確認

#### (1) 衛星画像の種類及び解析手法

使用したデータの諸元を表 3-1 に示す。また、使用したデータのトゥルーカラーの合成画像に関して、2004 年 2 月 20 日に観測されたデータ IKONOS のデータを図-3.2 に、2005 年 1 月 16 日に観測された QuickBird のデータを図-3.3 に示す。

表-3.1 仕様データの諸元

センサ名	解像度	プロダクトレベル	観測日	備考
IKONOS	1.0m	パンシャープン (4バンド)	2004 年 2 月 20 日	津波被害前
QuickBird	0.6m	パンシャープン (4バンド)	2005 年 1 月 26 日	津波被害後



図-3.2 2004 年 2 月 20 日に観測された IKONOS のデータ (トゥルーカラー画像)



図-3.3 2005 年 1 月 26 日に観測された QuickBird のデータ (トゥルーカラー画像)

画像解析作業は、ふたつの時期のデータを比較するための幾何補正処理、津波の影響範囲、家屋と残存植生の評価に分けられる。3.2(2)に画像間幾何補正及び津波の影響範囲の特定、3.2(3)に家屋被害の評価、3.2(4)に残存植生の評価の内容を詳述する。

#### (2) 津波の影響範囲の特定

二つの時期を比較する上で必要となる画像間幾何補正等の処理手順を順に詳述する。

##### ・画像間幾何補正 (STEP1)

IKONOS のデータは、2 つのシーンで構成されており、いずれかを基準画像として設定し、残りの画像を基準画像に合わせこむ処理が必要となる。そこで、西側のシーンを基準画像とし、東側の画像に対して画像間幾何補正の処理を施した。幾何補正には、1 次アフィン変換式、内挿法は最近隣内挿法を使用し、画素を再配列した。画像間幾何補正に利用した GCP (Ground Control Point) の情報を表 4-1 に示す。なお、画像間幾何補正では、RMS 誤差で 1 画素以内に入ることが確認され、十分な精度を有しているものと考えられる。

##### ・画像間の輝度値補正とモザイク処理 (STEP2)

IKONOS のデータは、2 つのシーンで構成されており、各々のデータの撮影時の入射角の違いから、反射輝度も異なり、若干色合いが異なる。そこで、何れかの画像を基準として、もう一方の画像の輝度値を基準画像に合わせこむこととした。輝度値の補正には、2 つのシーンの重複領域を利用し、互いの輝度値が類似した分布を示すよう、処理を施した。輝度値補正においても、西側の画像を基準とし、東側の画像を西側の画像に合わせこむこととした。また、補正したデータと基準画像の 2 つのシーンから、1 つの画像を作成する処理 (モザイク処理) を施した。

##### ・ふたつの時期データにおける画像間幾何補正 (STEP3)

画像間の幾何補正処理として、津波被害後の 2005 年 1 月 26 日に観測された QuickBird のデータを基準画像とし、津波被害前の 2004 年 2 月 22 日の IKONOS のデータを画像間幾何補正の対象データとした。今後、双方のデータを比較していく上で、解像度が異なる場合、直接、比較することができないことから、画像間幾何補正の処理を施す際に、処理対象の IKONOS のデータをバイリニア法の補間処理を施し、60cm 解像度のデータにした。

画像間幾何補正の精度に関しては、IKONOS の画像が地形の補正が施されておらず、QuickBird のパンシャープン画像が、粗い DEM を用いて補正処理が施されていることから、高度が高い箇所を設定した GCP は、若干ずれる。

そこで、標高の低い海岸線を優先して、GCP を設定すると共に、画像全体的な精度の維持にも配慮し、内陸においても数箇所 GCP を設定している。本作業では、GCP の精度として、3 画素以内に留めることとした。

・ふたつの時期データにおける輝度値補正 (STEP4)

IKONOS と QuickBird は、観測時期が異なる上、センサや、DN (Digital Number) 作成時のゲインやオフセットによっても、DN が示す意味が異なってくる。センサが異なるデータを比較するには、十分に注意する必要があると言える。ここでは、IKONOS と QuickBird のセンサ間の比較を行う上で、必要な補正として、2 時期間において、土地被覆状態が変化していないことが推測される 20 箇所以上のデータを検出し、補正するための係数を導き出した。

なお、ここでは、市街地や、道路、樹木等の土地被覆状態が変化していないことが推測される 21 点のデータを取得し、係数を導き出している。

津波の影響範囲の特定方法に関して、津波の被害前後のデータを利用していることから、津波の被害が土地被覆状態の変化として表れていることが推測できるものの、津波の被害後のデータが、津波被害から 1 ヶ月程度経過していることから回復していること、また、土地被覆の多くを樹林が占めること、被害の状況が樹木で覆われてしまっていることから、被害範囲を特定することは難しかった。

そこで、植生が衰退している範囲を参考としながら、被害範囲を推定した。具体的な処理手順は示した通りであり、被害前後の衛星データから、植生域を抽出し、その植生域が衰退している地域から、被害範囲を推定している。

・NDVI の適用

衛星データを利用した植生域の判定に、NDVI (正規化植生指標: Normalized Difference Vegetation Index) を利用した。NDVI は、下記に示す計算式で求められ、赤領域ではクロロフィルの吸収により低く、近赤外領域では、葉肉内の多重散乱により高く出る現象であり、植生の活性度把握や、植生域の判定に利用されている手法である。

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R)$$

ただし、IR: 近赤外の波長域 R: 可視域の赤の波長域、である。

・植生域の判定

NDVI は、通常、-1.0~1.0 で表現され、しきい値を設定することで植生域の判定が可能となる。本作業では、

津波被害前後のデータに対し、NDVI の値が 0.2 以上の値を示す画素を植生域と判定した。津波被害前の IKONOS のデータに対して、植生域を判定した結果を図-3.4 に、QuickBird の被害後のデータに対して植生域を判定した結果を図-3.5 に示す。

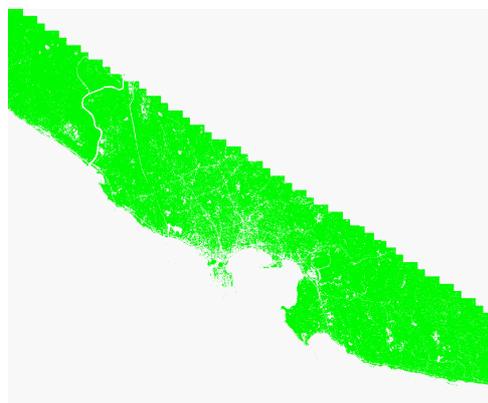


図-3.4 2004/2/20 を対象とした植生域の抽出結果

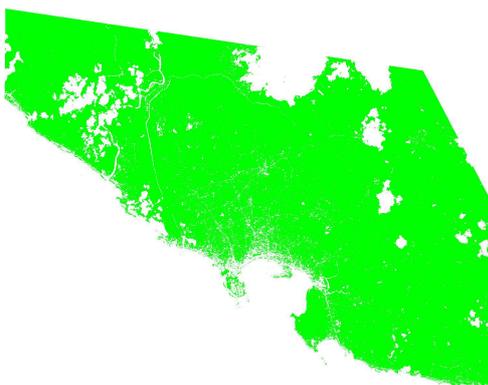


図-3.5 2005/1/26 を対象とした植生域の抽出結果

・植生域の変化箇所の判定

4.3.3 の植生域の判定結果から、ふたつの時期において植生域が衰退した箇所を抽出する。判定した結果を図-3.6 に示す。

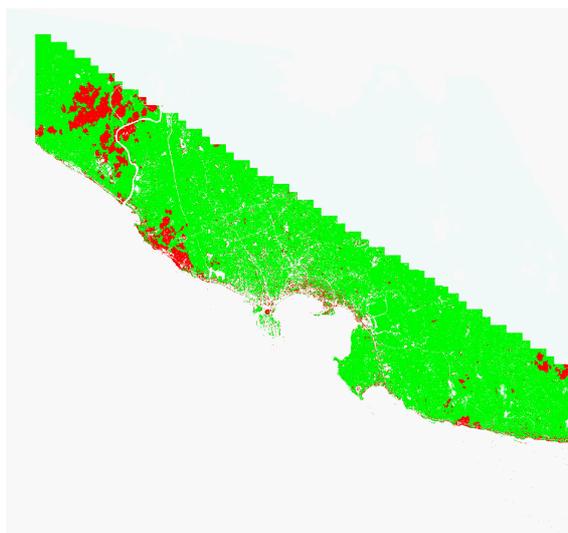


図-3.6 植生域の変化箇所の抽出

・津波の影響範囲の推定

ここまで抽出した植生の変化した箇所の中から、津波の被害で減少したと推測される地域を推定する。具体的には、雲の影響を除き、また、植生域の減少には市街化等の影響も考えられることから、津波被害前後の衛星データも併用し、見比べながら推測することが考えられるが、今回の検討では、人為的開発の影響等もあり、津波による植生域の衰退だけを抽出することが難しかった。なお、LANDSAT、SPOT等の中間赤外の波長域も有しているデータであれば、土地表層の状況により反射してくる（衛星で観測される）波長特性の変化により、塩分が蓄積されている箇所を抽出できる可能性があったが、今回の検討では表層土壌中の塩分量の変化は顕著ではなかった。

(3)家屋被害の評価

・処理手順

家屋被害の評価方法に関して図 4 10 に示す手順で実施した。各手順に関して以下に説明する。

STEP1：津波前と後の2時期のデータを対象に、NDVIを計算する。その後、各観測時期毎に、植生域と非植生域をしきい値により境界領域を決定し、2値化処理を施す。

STEP1に関しては、前述と同様である。

STEP2：津波前と後の2時期のデータを対象に、近赤外の波長域を利用した水域と陸域の2値化処理を施す。

STEP3：STEP1とSTEP2との結果から、植生域を除く陸域を抽出する。

STEP4：抽出した陸域のデータに対し、バンド和による正規化処理を施す。

STEP5：STEP3の結果に対し、教師つき最尤法を用いた分類処理を施し、家屋等の構造物を抽出する。

STEP6：STEP5と4.3の津波の影響範囲から、津波の被害を受けた残存構造物と津波の被害を受け破壊、もしくは流された家屋を判定する。

・しきい値を利用した水域の抽出

水域では、近赤外の波長域を吸収することから、近赤外のデータを用いて、水域と陸域を判定することが多い。本業務では、水域の判定に、近赤外の波長域に着目し、DNが300以下の画素を水域と判定した。

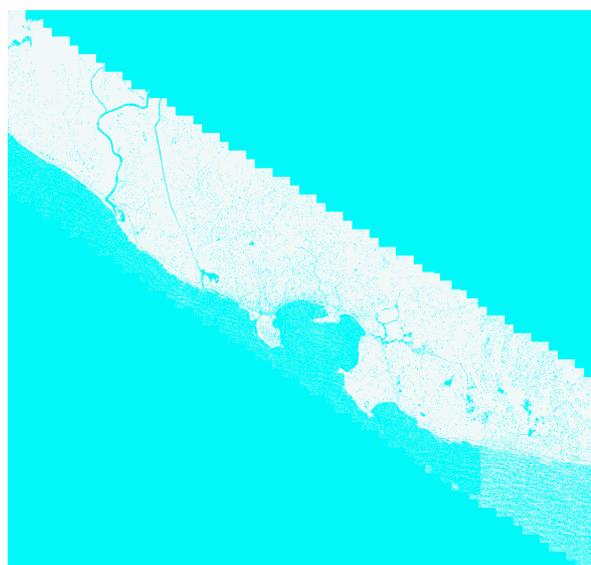


図-3.7 2004/2/20を対象とした水域の抽出結果

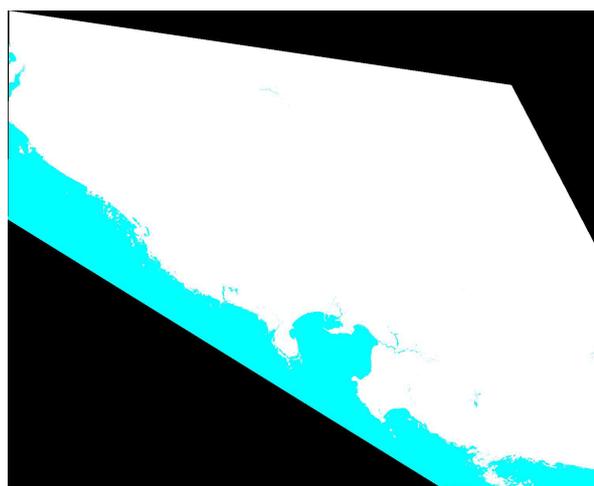


図-3.8 2005/1/26を対象とした水域の抽出結果

・植生域を除く陸域の抽出

家屋被害の評価を行うため、植生域や水域を除いた上で、家屋の評価を行うこととした。そこで、先に検出し

た植生域，上で抽出した水域の情報を用いて，植生域を除く陸域を抽出した。

・バンド和による正規化処理

市街地における家屋の抽出を試みる場合，家屋の屋根が向いている方向によって，輝度値が変化することから，他の土地被覆と誤判別されるケースも認められ，難しいと考えられる．そこで，家屋の抽出を行う前に，バンド和による正規化処理を施すことで，同じ材質が同じ DN 値として表されるよう配慮した。

・分類処理による家屋の抽出

本業務では，家屋の抽出に，4.4.4 で処理したバンド和により正規化されたデータを用いて，土地被覆分類処理を施した．分類手法は，教師付きの最短距離法を適用している。

・家屋被害の評価

このように推定した家屋の抽出結果から，家屋の被害を評価した結果を図-3.9 に示す。

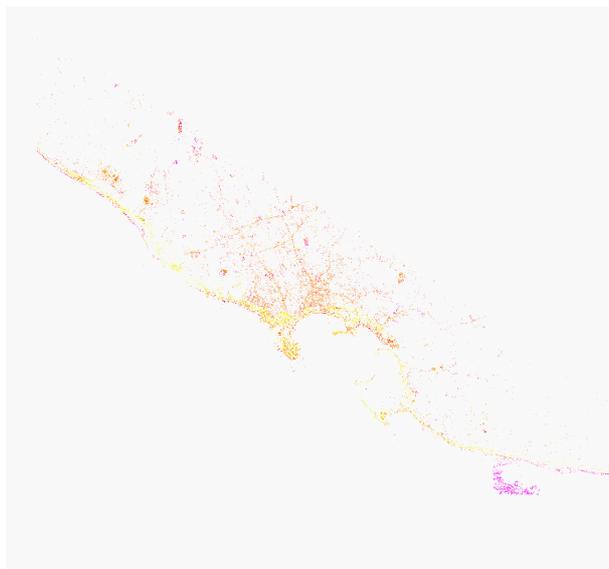


図-3.9 構造物の被害評価

(4) 残存植生物の評価

残存植生物の評価方法に関して図 4 20 に示す手順で実施した．各手順に関して以下に説明する．

STEP1：津波前と後の 2 時期のデータを対象に，NDVI を計算する．その後，各観測時期毎に，植生域と非植生域をしきい値により境界領域を決定し，2 値化処理を施す．

STEP2：STEP1 の 2 時期の結果に対し，植生域の変化領域と非変化領域を抽出する．

STEP3：STEP2 と 4.3 の津波の影響範囲から，津波の被害を受けた残存植生物と津波の被害を受け植生が排除された地域を判定する．

・植生域の変化箇所の抽出

4.3 で算出した 2 時期の植生域のデータから，植生が衰退した箇所を図 4 21 において赤色で示す．

・残存植生物の評価

これまでの結果から，残存植生物を評価した結果は図-3.6 と同様である．

(5) 災害調査への衛星画像解析の活用の可能性について

災害調査へ衛星画像解析を活用することにより，有効な点は，土壌中の塩分濃度の変化，植生の活性の変化等の目で見えない事象を把握できることである．また，比較的を広範囲を対象とした評価が可能である．その反面，災害発生以前，直後等に画像ライブラリが存在しない場合に解析が不可能である点，仮に画像が存在しても雲等の存在により解析が不可能になるなど撮影条件の影響，高解像度であれば狭い地域の解析には適するが広い地域の解析のためには作業量が非常に大きくなる点等の課題があった．また，撮影時期が離れすぎると災害による要因だけでなく，人間活動の影響，植生の繁茂等が進行する可能性があり，解析は慎重に検討すべき必要がある．

なお，今回の検討においては浸水範囲の特定のためには植生の活性が変化した領域としたが，場合によっては土壌中の塩分の含有量等から推定できる可能性がある．

### 3.3 漁業水産資源省等による漁業復興プログラム

2005 年 3 月に漁業水産資源省及び国連食料農業機関 (FAO) は，「津波後の漁業の復興及び発達に係るプログラム」を作成した<sup>3)</sup>．防災面では，沿岸域管理計画に反してセットバック境界より海側に建設された住居等の構造物が被害を大きく受けたとの認識を示しつつ，沿岸域の適切な管理及びセットバックの必要性について社会的認識が低いこと，及び，公共海岸へのアクセスが欠如し速やかな避難ができないことを重要な課題として挙げている．そして，被災した海岸保全構造物等の復旧，沿岸域の環境保護及び保全の必要性の啓蒙，公共海岸へのアクセスの向上等に係るプログラムを優先的に実施している．

### 3.4 都市開発・水供給省による市街地計画のガイドライン

2005 年 1 月に都市開発・水供給省は，津波により荒廃した地域の市街地及び自然環境の計画上の標準的事項をまとめたガイドラインを公表した．ガイドラインの想定利用者は，都市開発当局，地方機関，社会基盤の計画担当機関等であり，沿岸域を浸食，氾濫，汚染，サイクロ

表-3.2 脆弱地域に立地できる主な構造物・活動等

	平均高水位から100mまで	さらに200mまで	さらに700mまで
一般的な市街地	<ul style="list-style-type: none"> <li>・歴史的・建築的価値のある既存構造物</li> <li>・場合によるが、観光に関連した既存構造物等</li> <li>・新たな構造物は認めない(港湾関連施設、灯台等は例外)</li> <li>・社会基盤施設は移転</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・歴史的・建築的価値のある既存構造物</li> <li>・港湾関連施設</li> <li>・ホテル及びレストラン</li> <li>・漁業用の陸揚げ場所及び付帯設備</li> <li>・漁港に近接した漁業集落</li> <li>・農業(特に樹木作物)</li> <li>・鉄道及び高速道路は移転</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・他の二つから移転させた活動</li> <li>・住居及び市街地の機能のために要求される活動</li> </ul>
特に指定した市街地	<ul style="list-style-type: none"> <li>・歴史的・建築的価値のある既存構造物</li> <li>・公共用途のための緑地(障壁とする)</li> <li>・どうしても必要な、標高3m以上の堅固な既存構造物を使う公共的・商業的活動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・歴史的・建築的価値のある既存構造物</li> <li>・公共用途のための緑地(障壁とする)</li> <li>・どうしても必要な、適当な場所における商業的活動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・他の二つから移転させた活動</li> <li>・集合的で高地に位置する住居</li> </ul>

ン等の影響を受ける「脆弱(ぜいじゃく)な地域」(vulnerable zone)とみなしていることが特徴である。脆弱地域の範囲は平均高水位から1kmの範囲で、それを海側境界から100mまで(場合によっては150mまたは200m)、さらに陸側に200mまで、さらに700mまでの3つに分けている。また、脆弱地域内の構造物の基礎面は少なくとも平均潮位から3m上げることとしている(図-3.10)。

脆弱地域に立地できる主な構造物・活動等は表-3.2のとおりである。これによれば、脆弱地域であっても、歴史的・建築的価値のある既存構造物はその位置で保留される。また、平均高水位から100mまでは新たな構造物は基本的に認められない。市街地は、一般的な市街地と、地域風土を保全するため特に指定した市街地とに分けられ、特に指定した市街地では条件付きながら海岸線近傍における商業的活動が許容される場合がある。社会基盤施設は内陸側に移転することとされており、特に鉄道及び高速道路の移転を求めている。この他、ガイドラインでは下水道計画及び廃棄物管理システムの一体的整備、沿岸保全局の策定する沿岸域管理計画との整合性の配慮等にも触れている。

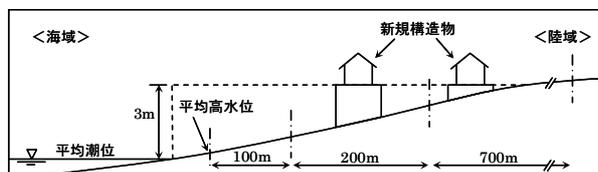


図-3.10 市街地等計画ガイドラインにおける脆弱地域の範囲

### 3.5 沿岸域管理のあり方に関するスリランカ国内の議論動向の紹介

津波発生から約1ヶ月後に当地の新聞に掲載された記事によれば、環境、利用及び防災面に配慮した沿岸域管理、鉄道及び高速道路の内陸部への移転、学校等における防災教育の充実等の必要性が指摘されている。従来、沿岸域管理の必要性は沿岸保全局等の行政が中心となって提案してきているが、津波による被災を契機に、行政だけでなく一般においても沿岸域管理の必要性について認識が高まりつつあると言える<sup>7)</sup>。

## 4. まとめ

1980年代から導入されているスリランカの沿岸域管理計画について報告するとともに、2004年12月のインド洋津波による沿岸域の被害特性をまとめた。

スリランカは、沿岸侵食、サイクロン被害等への対策として総合的な沿岸域管理計画を導入しており、海岸線近傍の建築物制限、特別管理地区の指定、開発計画の事前チェック等の手法により沿岸域管理を行っている。ただし、同計画では津波は災害要因として認識されておらず、インド洋津波によって沿岸域に大きな被害が発生したことが分かった。また、同国政府機関等を中心とした復旧・復興計画について報告した。

本研究の成果は、今後、わが国の沿岸域の適正な管理の検討の基礎的資料となる。また、沿岸域の津波被害の効果的な対策を立案するうえで参考となると考えられる。

## 謝 辞

今回の津波被害で犠牲になられた多くの方、そのご家族や各国に深く哀悼の意を表するとともに、スリランカに関する調査の実施においてご協力を頂いた多くの方々に謝意を表します。特に、国土技術政策総合研究所の広瀬宗一副所長、国土技術政策総合研究所細川恭史前沿岸海洋研究部長(現独立行政法人港湾空港技術研究所理事)にはスリランカの沿岸域管理政策について大変貴重な資料をご提供いただくとともに、本研究の実施にあたって深い洞察と示唆を頂きました。御礼を申し上げます。また、国土交通省港湾局建設課国際業務室をはじめとする国土交通省港湾局の方々、国土技術政策総合研究所及び独立行政法人港湾空港技術研究所の方々に謝意を表します。さらに、Sri Lanka Ports AuthorityのMr. H.G.W. Panditha, Moratuwa大学のDr.Saman Samarawickrama, Administrative District of GalleのMr. Gunasena Hewavitharanaの各氏にもお世話になりました。各位に深甚なる謝意を表します。

## 参考文献

- 1) Revised Coastal Zone Management Plan Sri Lanka 2003, Coast Conservation Department, Ministry of Fisheries and Ocean Resources, Sri Lanka, April 2003/スリランカ漁業水産資源省沿岸保全局：スリランカ沿岸域管理計画案 2003年改訂版，2003
- 2) Post-tsunami Fisheries Reconstruction and Development Programme (FRDP), Ministry of Fisheries and Aquatic Resources, Sri Lanka and Food and Agriculture Organization of the United Nations, March 2005/スリランカ漁業水産資源省・国連食料農業機関：津波後の漁業の復興及び発達に係るプログラム，2005
- 3) Physical Planning Guidelines and Project Proposals for the "Vulnerable" Coast Zone of Sri Lanka, National Physical Department, Ministry of Urban Development and Water Supply, January 2005/スリランカ都市開発・水資源省国家計画局：スリランカの「脆弱な」沿岸域に関する配置計画ガイドライン及び事業提案，2005
- 4) 外務省ホームページ <http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/srilanka/data.html>
- 5) 農林水産省ホームページ [http://www.maff.go.jp/kaigai/gaikyo/f\\_z\\_srilanka.htm](http://www.maff.go.jp/kaigai/gaikyo/f_z_srilanka.htm)
- 6) スリランカ社会福祉省：スリランカカントリーレポート，1999

7) Dr. Janaka Wijetunge: Future Directions for Coastal Land Use, Sri Lanka Daily News, January 27, 2005

8) 例えば, R. A. D. B. Samaranayake: Sri Lanka's Agenda for Coastal Zone Management, the Review of Advanced Technologies for the Integrated Management of EEZs and Coastal Zones Worldwide, ICG Publishing Limited, Edition 5

(2006年2月15日受付)