

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23404001

研究課題名(和文) ドミニカ共和国における遠隔手法と数値モデルを組み合わせた沿岸環境管理手法の開発

研究課題名(英文) Development of coastal management method in Dominican Republic standing on remote sensing and mathematical model techniques

研究代表者

西嶋 渉 (Nishijima, Wataru)

広島大学・環境安全センター・教授

研究者番号：20243602

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,700,000円、(間接経費) 4,410,000円

研究成果の概要(和文)：ドミニカ共和国サントドミンゴを流れるハイナ川、オザマ-イザベラ川からのカリブ海への汚濁負荷(Chl-a、SS)を衛星ALOS AVNIR-2を用いて評価した。2011年3月(ケースA)、2011年6月(ケースB)に現地にてスペクトラルリフレクタンス/Chl-a、SSデータを得てAVNIR-2データを用いたChl-a、SS評価のアルゴリズムを作成した。アルゴリズムを2010年11月、2010年8月の評価に適用して有用なバンドを求めた。そして、AVNIR-2のデータに基づいてChl-a、SSのマッピングを行った結果、現地観測結果と一致した。最終的には、両川河口のChl-a、SSを求めるに至った。

研究成果の概要(英文)：This study aims to study the distribution of contaminants in the Haina River and Ozama-Isabela River that flow through Santo Domingo, Dominican Republic into the Caribbean Sea by using chlorophyll-a (Chl-a) and suspended sediment (SS) as markers and ALOS AVNIR-2 satellite sensor data. In situ spectral reflectance/Chl-a and SS datasets obtained from these rivers were acquired in March 2011 (Case A) and June 2011 (Case B) to develop the estimation algorithm of Chl-a and SS using AVNIR-2 data. The algorithm was applied to AVNIR-2 data in November 2010 for Case A and August 2010 for Case B. In both cases, the reflectance ratio of AVNIR-2 band 4 and band 3 (AV4/AV3) and the reflectance of AVNIR-2 band 4 (AV4) were effective for Chl-a and SS estimation. The Chl-a and SS mapping obtained by AVNIR-2 data corresponded to the field survey data. Finally, an outline of the distribution of contaminants at the mouth of the river that flows into the Caribbean Sea was obtained for both rivers.

研究分野：環境学

科研費の分科・細目：環境影響評価・環境政策

キーワード：水質汚濁 一次生産量 リモートセンシング 数値モデル

1. 研究開始当初の背景

マクロに環境をとらえる有力な手法としてリモートセンシング技術がある。従来この技術では外洋の水温、クロロフィルなどの水質しか把握できなかったが、全球一次生産の推定などに効果を発揮してきた¹⁾。近年様々な水質項目を同定できる高スペクトル分解能を持つ衛星センサが開発されている。また、1年に数回しか得られなかった同一地点での衛星データがタンデム運用(同型の衛星センサを別の衛星複数機に載せて回帰日数を縮める)等によって頻度が高まり、その応用用途が広がっている。その結果、外洋では海色センサを用いた赤潮プランクトンの同定・計測²⁾が実用段階になり、沿岸では濁度分布測定の実用化にむけた研究が盛んとなっている³⁾。このように様々な応用用途に向けた技術的な開発が進んでいるところであるが、実用化にむけては河川を含む沿岸域の光学特性は極めて複雑で外洋と比較して現地調査データが極めて少ないのが現状である。ここでいう光学特性とは、主に水質等と深い関係にある水中からの分光反射率データであり、地域ごとに現地における分光反射率/水質データセットの蓄積が非常に重要である。

一方で、リモートセンシング技術によって得られる情報はあくまで海の表面の情報であり、鉛直方向の分布情報は得られない。このため、リモートセンシング技術によって得た二次元の情報を三次元にするための数値モデルの開発については、全球一次生産の推定のために研究されている^{4,5)}。

2. 研究の目的

本研究では、第一に衛星 ALOS に搭載された AVNIR-2 データを使って、カリブ海へ流れ込む河川の汚濁分布状況を把握することを目的とした。ただし降雨の前後で水色が極端に異なることから、非豪雨時ではクロロフィル(Chl)を、豪雨後には懸濁物質(SS)をそれぞれ環境マーカーとした。この目的を達成するために、まず船舶から分光反射率/水質データセットを取得し、AVNIR-2 データによる Chl、SS を推定するアルゴリズムを作成した。次にそのアルゴリズムを AVNIR-2 データに適用して、河川内の汚濁分布の把握した。さらに、河川から沿岸域における汚濁粒子の挙動を明らかにするため、海洋環境シミュレーション

モデルを構築することとした。

3. 研究の方法

3.1 調査対象

対象は、ドミニカ共和国の首都サントドミンゴの中心部を流れるハイナ川(HN)とオザマーイザベラ川(OZ-IS)である。これらの川の位置を図 1 に示す。

3.2 調査方法

調査地点は図 1 の通りである。観測日は 2011 年 3 月 9-10 日と 2011 年 6 月 8-9 日で、小型船舶から分光反射率/水質同時測定を調査地点で行った。一方、分光反射率は、ポータブルスペクトルメータを用い、420-900 nm の範囲を 1 nm の spectral resolution で測定した。反射率は、水面直上(水面上約 20 cm)の上向き分光放射輝度とその直前に測定した標準白色板に反射させた分光放射輝度の比として算出した。また水質項目のうちクロロフィル a (Chl-a)は水質計で現地測定し、SS はろ紙重量の測定に基づき定量した。



図 1 ドハイナ川とオザマーイザベラ川

3.3 衛星データ

2006 年 1 月 24 日に宇宙航空研究開発機構(JAXA)によって打ち上げられた ALOS/AVNIR-2 と呼ばれる解像度 10m の可視・近赤外 4 バンドからなるセンサのデータを用いた。研究に使用した AVNIR-2 データは、2010 年 8 月 19 日及び 2010 年 11 月 19 日の 2 シーン(L1B2 プロダクトデータ)である。

3.4 海洋シミュレーションモデル

(1) 支配方程式

本研究で用いた海洋モデルは、 σ 座標系を用いて、準 3 次元モデル Princeton Ocean Model をベースに改良を行ったモデルを用いた。また、Smagorinsky 型拡散係数および Mellor Yamada レベル 2.5 を用いた。

(2) 計算領域と初期条件

計算シミュレーションの対象領域と水深は、図 2 に示す通り、オザマ川およびハイナ川の河口を中心とした東西 170km 南北 78km の海域とした。本海域の水深データは、アメ

リカ海洋気象局 NOAA の WEB サイトにて公開されている地球全体の海底地形 (ETOPO1)を用いた。

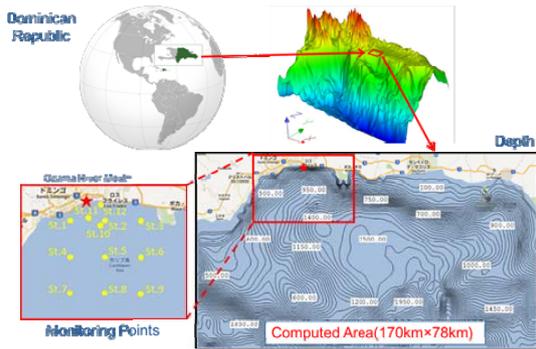


図3 計算領域

図2 計算領域

4. 研究成果

4.1 AVNIR-2 による観測結果

2010年8月19日及び11月19日の2シーンの画像を図3に示す。11月と比べ8月の画像は両河川が非常に濁っている。

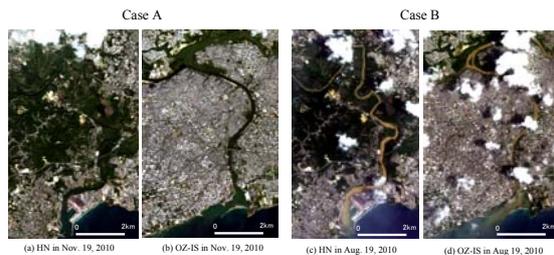


図3 有機汚濁物質卓越(2010年11月19日, Case A)、無機汚濁物質卓越(2010年8月19日, Case B)時の AVNIR-2 画像

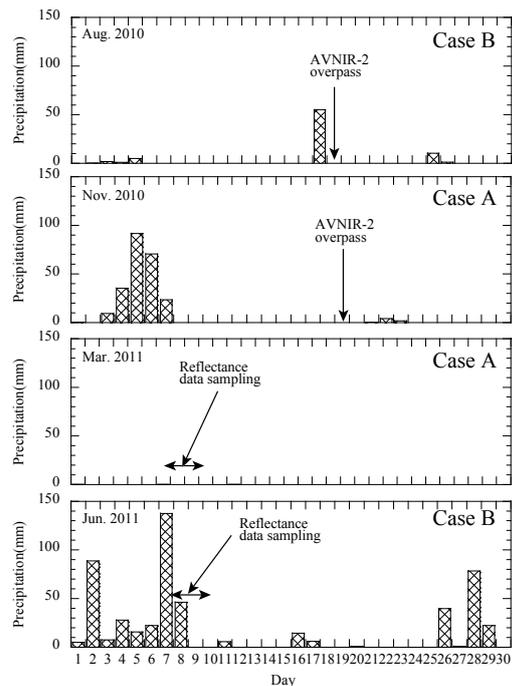


図4 衛生及び現地調査期間における一日あたりの降水量

図4は衛星観測月である2010年8月と11月の日降水量と実測分光反射率測定月である2011年3月と6月の日降水量の変化を示す。これより2010年の8月の衛星観測日と2011年6月の実測分光反射率測定月は前日に10mm以上の降雨があり、2010年11月と2011年3月は前日に降雨が全くなかったことがわかる。以降、前日に降雨がなく有機物由来の懸濁物質が卓越している場合をCase A、前日降雨があり有機物由来の懸濁物質が卓越している場合をCase Bと呼ぶ。

4.2 AVNIR-2 リフレクタンスの計算と Chl と SS

表1に擬似 AVNIR-2 バンド1-4と Chl (Case A)または SS (Case B)の相関分析結果を示す。その結果、Case A では [AV4/AV3]と Chl が最も高い相関($R^2=0.82$)を示し、標準誤差は $23.8 \mu\text{g/l}$ であった。一方、Case B では [AV4]または [AV4/AV2]と SS が最も高相関($R^2=0.80$, $R^2=0.81$)を示し、標準誤差は各々 26.1 mg/l と 25.4 mg/l であった。

表1 AVNIR-2 のバンド1-4と Chl 及び SS の決定係数(R^2)標準誤差 (SE)

Case A		Case B			
変数	R^2	SE ($\mu\text{g/l}^{-1}$)	変数	R^2	SE ($\mu\text{g/l}^{-1}$)
AV1	0.13	51.6	AV1	0.06	56.2
AV2	0.04	54.3	AV2	0.30	48.7
AV3	0.01	55.2	AV3	0.42	44.1
AV4	0.22	49.1	AV4	0.80	26.1
AV2/AV1	0.22	49.1	AV2/AV1	0.52	40.4
AV3/AV1	0.09	52.8	AV3/AV1	0.50	41.2
AV3/AV2	0.03	54.6	AV3/AV2	0.71	31.4
AV4/AV1	0.60	35.1	AV4/AV1	0.66	33.7
AV4/AV2	0.47	40.5	AV4/AV2	0.81	25.4
AV4/AV3	0.82	23.8	AV4/AV3	0.71	31.2

以上の結果より、本研究では Case A の Chl 推定式と Case B の SS 推定式を以下の式を採用した。

$$\text{Chl} = 920 \frac{R(\text{AV4})}{R(\text{AV3})} - 1.2 \quad (1)$$

$$\text{SS} = 5500R(\text{AV4}) + 15 \quad (2)$$

4.3 Chl と SS のマッピング

式(1)と式(2)により Case A の Chl と Case B

のSSをマッピングした結果を図4に示す。Case AのHN(図4(a))では河口から約3km上流のA地点を境にそれより上流ではChlが非常に高く、下流では非常に低い値を示している。カリブ海では、Chlは非常に低くなっている。a地点を境にChlが高くなっている理由として、2011年1月～3月では河口からA地点付近まで高い塩分(20psu)を示していた事実や、a地点で川が大きく蛇行している地形などから、それより上流の水交換が急激に低くなり、上流の藻類が繁殖したからと考えられる。Case BのOZ-IS(図4(b))ではBの範囲の最も下流部を境に、それより上流で高いChlを示している。このような上流と下流部の極端なChl差は基本的にはHNと同様の理由だと考えられるが、Bの範囲には前述したスラム街が川沿いに広がっており、陸からの下水や有機的な廃棄物も高いChlの要因の一つとなっていると考えられる。

一方、Case BのHN(図4(c))ではc地点を境にそれより上流ではSSが非常に高く、下流ではSSの濃度がやや希釈されてカリブ海にSSが流出していることがわかる。HNではdにみられるように河口の東西・南北にSSが拡散していることも読み取れる。Case BのOZ-IS(図4(d))では雲があり、解釈が難しいが、OZとISの合流部であるe地点を境に、東側の上流部のHN同様、SSの濃度がやや希釈されてカリブ海に流出している。カリブ海流出後は、Fに見られるように西側に向かって少なくとも東西2km以上、南北500m以上は高いSSが流出し、河口の東側の海岸ではGに見られるようにSSの流出は確認できない。このようなSSの西流は明らかに河口部に1km程度の作られた東西方向の堤防が影響していると考えられた。

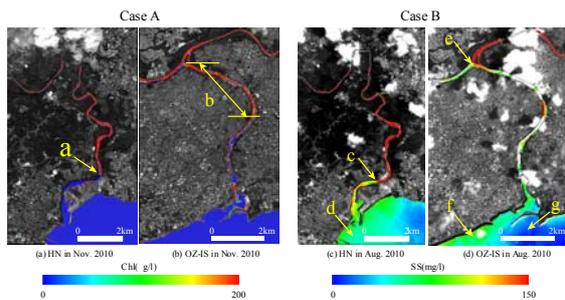


図4 汚濁条件下(Jun. 8-9, 2010)におけるAVNIR-2 Band [4]とChl、SSとの関係

4.5 沿岸における汚濁物質の挙動

首都サントドミンゴ市内を流れるオザマ川からの汚濁物質が、カリブ海沿岸に移流・拡散する現象を示す。オザマ川には、雨水のみならず家庭排水も直接流れ込むため、汚染度が非常に高く、カリブ海沿岸域の海洋環境に影響を与えている。オザマ川河口域の流速や濁度などの境界条件は、予め現地観測や衛星データから得られたものを規格化し使用した。図5と図6は、オザマ川から流出した汚濁物質(汚濁粒子と懸濁物質濃度)の3ヶ月間の拡がりの様子を示したものである。先に示した潮流にしたがって、カリブ海沿岸を南西方向に拡がっていく様子が再現されている。

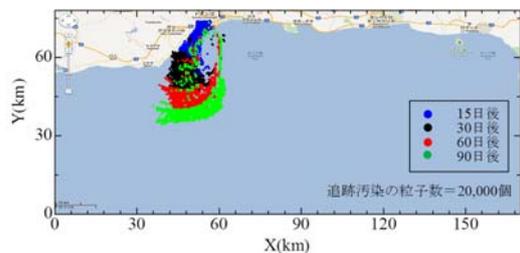


図5 汚濁粒子の拡がりの様子(3ヶ月間)

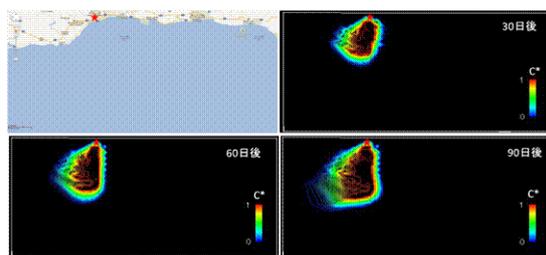


図6 懸濁物質の濃度の拡がりの様子(3ヶ月間), ★印はオザマ川河口付近

このような特徴的な濁度分布について、衛星データ(ALOS)と比較検証したものが、図7である。ALOSデータの図中央上部にあるオザマ川河口から流出した汚濁物質がカリブ海に流出し、拡がっていく様子が分かる。特に、濁度の高いエリアは、南西海岸に沿って拡がっており、その傾向は、シミュレーションによっても概ね再現されている事が分かる。今後、衛星データ解析による濁度分布、潮流速、水温などの観測結果とシミュレーション結果を、データ同化を行い、さらに計算精度を向上させる必要はある。

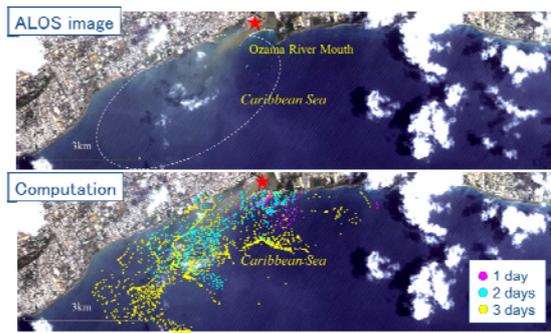


図 7 オザマ川河口域の汚濁分布(点線の領域は濁度が高いエリア)の拡がりの比較
(上段：衛星データ ALOS 画像，下段：シミュレーション結果)

【引用文献】

- 1) 浅沼ら、地球環境、9、239-244 (2004)
- 2) Ishizaka ら、日本リモートセンシング学会誌、29(1)、74-79 (2009)
- 3) Chen ら、Remote Sensing Environ. , 109, 207-220 (2007)
- 4) Behrenfeld ら、Limnol. Oceanogr. , 42, 1-20 (1997)
- 5) Asanuma ら、Proceedings of SPIE, 4154, 153-158 (2000)
- 6) De La Fuente, Geografía Dominicana, Editotial Quisqueyana, 235-236 (1976)
- 7) MacFarlane, N. & Robinson, I., Int. J.

Remote Sensing 5, 561-576 (1984)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- 1) Sakuno Y., Miño, E. R. A., Nakai, S., Mutsuda, M., Okuda, T., Nishijima, W., Castro, R., Garcia, A., Peña, R., Rodriguez, M., and Depratt, G. C.: Chlorophyll and suspended sediment mapping to the Caribbean Sea from rivers in the capital city of the Dominican Republic using ALOS AVNIR-2 data, Environmental Monitoring and Assessment, Published online, 2014.03. [DOI 10.1007/s10661-014-3689-6] (査読有り)
- 2) Sakuno, Y., Makio, K., Koike, K., Maung-Saw-Htoo-Thaw, and Kitahara, S.: Chlorophyll-a estimation in Tachibana Bay by data fusion of GOCI and MODIS

using linear combination index algorithm, Advances in Remote Sensing, 2, 292-296, 2013. (査読有り)

- 3) 陸田秀実, 鎌田正也, 奥田哲士, 土井康明: 鉄鋼スラグからの溶出物による CO2 海洋固定化能に関する研究、土木学会論文集, B2, 69, 2, I_1276-I_1280, 2013. (査読有り)
- 4) 作野裕司: 色度理論に基づく閉鎖性水域の水色定量と透明度との関係、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、68、212、2012. (査読有り)

〔学会発表〕(計 9 件)

- 1) 作野裕司, 槇尾慶太: 水表面効果を考慮した Landsat-8 による宍道湖・中海の表面水温推定精度検証, 日本海洋学会 2014 年度春季大会講演要旨集, p.55, 2014.3.26 ~30
- 2) Sakuno, Y.: Chlorophyll data fusion in Tachibana Bay using COMS GOCI and MODIS data by the LCI method, 2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2013), pp.1594-1597, Melbourne, 2013.7.21~26
- 3) Sakuno Y., Miño, E. R. A., Nakai, S., Mutsuda, M., Okuda, T., Nishijima, W., Castro, R., Garcia, A., Peña, R., Rodriguez, M., Depratt, C. G.: Simulation of chlorophyll-a estimation by WORLD VIEW-2 in the urban rivers of the Dominican Republic using field spectral data, The 33nd Asian Conference on Remote Sensing, Pattaya, 2012.11. 26~30
- 4) Sakuno, Y., Nishi, N., Kobayashi, H., Higa, H., Koibuchi, Y., and Toratani, M.: Initial validation of COMS GOCI data in Tokyo Bay, Japan, International Symposium on Remote Sensing 2012, Colorado, 2012.6.5 ~8
- 5) E. R. Mino, Y. Sakuno, S. Nakai, H.

- Mutsuda, T. Okuda, W. Nishijima, R. Castro, A. Garcia, R. Pena, M. Rodriguez, C. Depratt G.: Pollution Loading to the Caribbean Sea from rivers in the capital city of The Dominican Republic, International Sessions in Conference on Coastal Engineering, JSCE Morioka, 2011.11.9～11
- 6) E. R. Mino, Y. Sakuno, S. Nakai, H. Mutsuda, T. Okuda, W. Nishijima, M. Rodriguez: Field survey and satellite validation of water quality parameters of rivers in the surroundings of Santo Domingo Metropolitan area, 9th International Conference on the Environmental Management of Enclosed Coastal Seas (EMECS 9), Baltimore, 2011.8.28～31
- 7) E. R. Mino, Y. Sakuno, S. Nakai, H. Mutsuda, T. Okuda, W. Nishijima, R. Castro, A. Garcia, R. Pena, M. Rodriguez, C. Depratt G.: Monitoring of Water Quality of Ozama, Isabela and Haina rivers, Dominican Republic, VII International Interdisciplinary Scientific Research Congress, Santo Domingo, 2011.6.9～10 (招待講演)
- 8) Sakuno Y., Miño, E. R. A., Nakai, S., Mutsuda, M., Okuda, T., Nishijima, W., Castro, R., Garcia, A., Peña, R., Rodriguez, M., Depratt, C. G.: Mapping water quality using satellite remote sensing technique in eutrophic Ozama-Isabela and Haina rivers of Dominican Republic, VII International Interdisciplinary Scientific Research Congress, Santo Domingo, 2011.6.9～10 (招待講演)
- 9) 作野裕司、E. R. Mino、中井智司、陸田秀実、奥田哲士、西嶋渉、R. Castro、A. Garcia、R. Pena、M. Rodriguez、C. Depratt G. : ドミニカ共和国の都市河川における分光反射率特性と水質の関係(2011年3月)、第50回日本リ

モートセンシング学会学術講演会論文集、東京、2011.5.26～27

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://environ.hiroshima-u.ac.jp/HPmain/projects/Dominica.pdf>

6. 研究組織

(1)研究代表者

西嶋 渉 (Wataru NISHIJIMA)

広島大学・環境安全センター・教授

研究者番号：20243602

(2)研究分担者

陸田 秀実 (Hidemi MUTSUDA)

広島大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：80273126

作野 裕司 (Yuji SAKUNO)

広島大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：20332801

奥田 哲士 (Tetsuji OKUDA)

広島大学・環境安全センター・助教

研究者番号：60343290

中井 智司 (Satoshi NAKAI)

広島大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：80313295

(3)連携研究者

なし