



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海色リモートセンシングのためのタイ湾船上観測
Author(s)	藤田, 克也; 小林, 拓; 虎谷, 充浩 他
Description	第12回衛生工学シンポジウム (平成16年11月4日 (木) -5日 (金) 北海道大学クラーク会館) . 一般セッション . 1 大気 土壌環境 . 1-4
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 12, 45-48
Issue Date	2004-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/1226
Type	departmental bulletin paper
File Information	1-4_p45-48.pdf



1-4 海色リモートセンシングのためのタイ湾船上観測

○藤田克也, 小林 拓 (山梨大学), 虎谷充浩, 福島 甫 (東海大学)
松村皐月, Absornsuda Siripong (チュラロンコン大学)

1. はじめに

沿岸域など懸濁度の高い海域は一次生産性が高く, 一方で, 二酸化炭素の固定といった地球環境の視点からも注目されている. また, 沿岸域は人為的な汚染を受けやすい. そのため, このような海域を対象として定期的に広範囲な環境監視を行う必要がある. この手段の一つとして衛星リモートセンシングが注目されている. 衛星リモートセンシングは広範囲にわたる観測が可能であり, また, 定期的に同地点を観測することから経時的な観測が可能である. 衛星リモートセンシングにより, 水質汚濁を観測するためには, 汚濁物質濃度と衛星センサの検出する上向き放射輝度 (光の強さ) との関係を, あらかじめ明らかにしておく必要がある. そこで本研究では, 汚濁物質濃度と上向き放射輝度との関係を, 水中の溶存物質や懸濁物質, 水分子の吸収や散乱といった光学特性を基に, 太陽放射の伝播に関する大気-海洋系の放射伝達方程式を解き (放射伝達モデル), 理論的に算出する方法を用いる. なお, ここでの汚濁物質とは, 植物プランクトンや巻き上げられた底泥, 河川から流入した土壌粒子などを指している. 沿岸域では無機性懸濁物が多いため, 海域の反射特性は懸濁物質の影響を大きく受けている. そこで海域の反射特性を議論するため, 放射観測によりその実測値を求めると同時に, 懸濁物質の量や光学的特性の測定を行い放射伝達モデルから反射特性の推定値を求め, これらを比較し検討する.

本研究では, 近年, 経済発展に伴い, その沿

Table 1 Observation items.

放射関連測定項目	
水中上向き放射輝度	分光放射計 (TriOS Opt. Sens., RAMSES-VIS-ARC)
水中下向き放射輝度	分光放射計 (TriOS Opt. Sens., RAMSES-VIS-ACC)
水中の物質の光学的特性	
植物プランクトン, 無機性懸濁物質の吸収係数	積分球付分光光度計 (日本分光, V-550 UV/VIS, ISV-469)
CDOM (有色溶存物質) の吸収係数	分光光度計 (日本分光, V-550 UV/VIS)
無機性懸濁物質の粒径分布	コールターカウンタ (Beckman Coulter inc., Multisizer III)
水質項目	
クロロフィル-a濃度	蛍光分光光度計 (Turner Design, 10-AU)
懸濁物質の乾燥重量 (SS)	電子天秤により乾燥重量の測定
無機性懸濁物質の乾燥重量	燃焼法により有機性懸濁物質を分解後, 電子天秤により乾燥重量の測定

岸域の水質汚濁が悪化している東南アジア諸国の中で, 海洋観測の共同研究が可能であるタイ王国のタイ湾を衛星リモートセンシングの対象海域とし, 各種水質項目や光学観測を実施し, 放射伝達モデルを構築し, アルゴリズムの開発を行う.

2. タイ湾における観測

2004年5月12日から15日にかけて, タイ湾においてチュラロンコン大と共同観測を実施した (Fig.1). 調査地点を17地点設定し, カセサート大の実習船にて各地点を回り各種観測を行った. 実際には天候やスケジュールの関係で15地点で実施した. 観測項目を Table 1

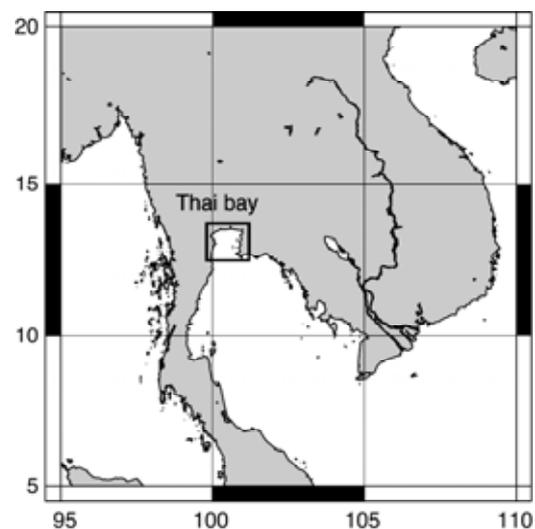


Fig.1 Location of Thai bay.

Table 2 Chlorophyll-a and SS concentration at each observation site and each depth.

Station (Bottom Depth)	Depth [m]	Chl-a [mg/m ³]	Pheo. [mg/m ³]	Total SS [mg/L]	Inorganic SS [mg/L]	Organic SS [mg/L]	Loss level
Stn.1 (12.4m)	0	5.99	1.12	8.97	5.97	3.01	1
	5	4.01	0.75	1.25	0.80	0.46	
	10	3.27	0.61	1.90	1.38	0.53	
Stn.2 (16.8m)	0	1.60	0.30	0.84	0.16	0.68	
	5	1.65	0.31	0.80	0.22	0.58	1
	10	6.19	1.15	0.83	0.17	0.66	
Stn.3 (11.5m)	0	7.64	1.42	-	-	0.76	2
	5	6.09	1.13	0.73	0.13	0.60	
	10	9.67	2.96	3.01	2.13	0.88	
Stn.4 (9.0m)	0	1.74	0.59	0.78	0.32	0.46	1
	5	1.86	0.60	0.73	0.26	0.47	1
	8	10.54	2.49	3.75	2.66	1.09	1
Stn.5 (15.3m)	0	3.09	0.70	0.77	0.29	0.48	3
	5	1.93	0.42	-	-	0.44	3
	10	4.05	1.12	1.22	0.66	0.57	1
Stn.6 (15.4m)	0	6.46	1.67	1.50	0.74	0.76	2
	5	5.86	0.75	1.33	0.69	0.63	2
	10	5.84	0.99	1.67	1.04	0.63	1
Stn.7 (19.0m)	0	3.53	0.60	2.32	1.75	0.57	
	5	3.67	0.91	2.38	1.81	0.58	1
	10	2.98	0.81	2.43	1.88	0.55	
Stn.8 (24.5m)	0	1.75	0.29	0.61	0.44	0.17	
	5	0.93	0.24	0.83	0.54	0.28	1
	10	0.99	0.19	0.81	0.57	0.25	
Stn.9 (22.3m)	0	1.57	0.29	1.56	1.14	0.43	1
	5	1.62	0.32	1.06	0.78	0.28	1
	10	1.89	0.49	1.58	1.15	0.44	
Stn.11 (27.8m)	0	1.02	0.23	0.57	0.36	0.21	2
	5	0.87	0.18	0.45	0.25	0.20	1
	10	0.87	0.20	0.64	0.39	0.25	
Stn.12 (24.6m)	0	1.13	0.13	0.87	0.66	0.21	3
	5	1.15	0.12	0.93	0.67	0.26	2
	10	1.23	0.19	0.88	0.65	0.23	3
Stn.13 (37.7m)	0	1.10	0.18	0.31	0.16	0.15	2
	5	1.07	0.16	0.25	0.10	0.15	1
	10	1.22	0.22	0.43	0.21	0.22	2
Stn.14 (19.0m)	0	3.88	0.61	1.61	1.15	0.45	
	5	3.63	0.87	1.69	1.20	0.50	
	10	3.24	0.65	1.98	1.49	0.49	1
Stn.16 (19.5m)	0	0.76	0.14	0.23	0.01	0.22	1
	5	0.84	0.14	-	-	0.22	
	10	0.82	0.14	0.24	0.01	0.23	
Stn.17 (12.1m)	0	7.54	0.48	1.16	0.40	0.76	
	5	9.42	0.71	1.62	0.60	1.02	

に示す。水質項目を分析するための試料は、表層 (0m), 5m, 10m からバンドン採水器により採取した。St. 4 だけは水深が 10m 未満であったため、海底より 1m 上の 8m の深さから採水した。

3. 測定方法

3-1. 水面直下の反射率

衛星が観測するデータは水面からの上向き光であり、これは、水面での反射率で決定される。しかし、水面における観測は天空光や太陽光の反射によって非常に困難である。そこで、水面直下の上向き放射輝度と下向き放射照度の測定を放射強度の減衰と深度との間に指数関数の関係があることを利用して、水面直下の反射率を求めた。水面近くから 1-2m おきに放射計を沈めながら放射測定を実施し、得られた深度と放射量との関係を指数関数で近似し、深度 0m, すなわち水面直下の値を算出した。次に上向き放射輝度の角度分布は等方性であると仮定し、水面直下の上向き放射輝度 $Lu(0^-)$ から水面直下の上向き放射照度 $Eu(0^-)$ を (1) 式から求めた。

$$Eu(0^-) = \pi Lu(0^-) \quad (1)$$

最後にこの水面直下の上向き放射照度と下向き放射照度 $Ed(0^-)$ から次式を使って、水面直下の反射率 $R(0^-)$ の導出を行った。

$$R(0^-) = Eu(0^-) / Ed(0^-) \quad (2)$$

3-2. 光学的特性や水質項目の分析

クロロフィル-a 濃度は、数十 ml の試料水をガラス繊維フィルター (Whatman, GF/F) によりろ過した後、N-N ジメチルフォルムアミドに抽出し、蛍光光度計により定量した [Suzuki and Ishimaru, 1990]。SS 濃度は、ろ過前後のガラス繊維フィルターの重量濃度の差から算出した。無機性懸濁物質濃度を全 SS 濃度から分離するために GF/F フィルターを 500°C で 3 時間加熱し、杓減量から有機性懸濁物質濃度を求めた。そして全 SS 濃度から有機性懸濁物質濃度

を引くことにより無機性懸濁物質濃度を求めた。粒子の吸光度は積分球付分光光度計で測定した [Mitchell, 1990]。色素はメタノールで抽出した [Kishino et al., 1985]。植物プランクトンと粒子状物質の吸収係数は、光路長増幅係数 β を用いて算出した [Cleveland and Weidemann, 1993; Kishino et al., 1985]。有色溶存有機物 (CDOM) の吸収係数は、試料水をポアサイズ $0.2 \mu m$ のヌクレポアフィルター (Whatman, Nuclepore) でろ過した後、10cm セルを用いて分光光度計で測定した。

4. 測定結果および考察

クロロフィル-a 濃度および SS 濃度の測定結果を Table 2 および Fig. 2, 3 に示す。表中の SS 濃度において“-” は測定結果が負の値であったことを示している。SS 濃度を測定するため、ろ過したフィルターを乾燥させた際、一部のフィルターでは、フィルターの繊維が下に敷いてあったアルミ箔に付着していた。その度合いを“Loss Level”として表した。全 SS 濃度

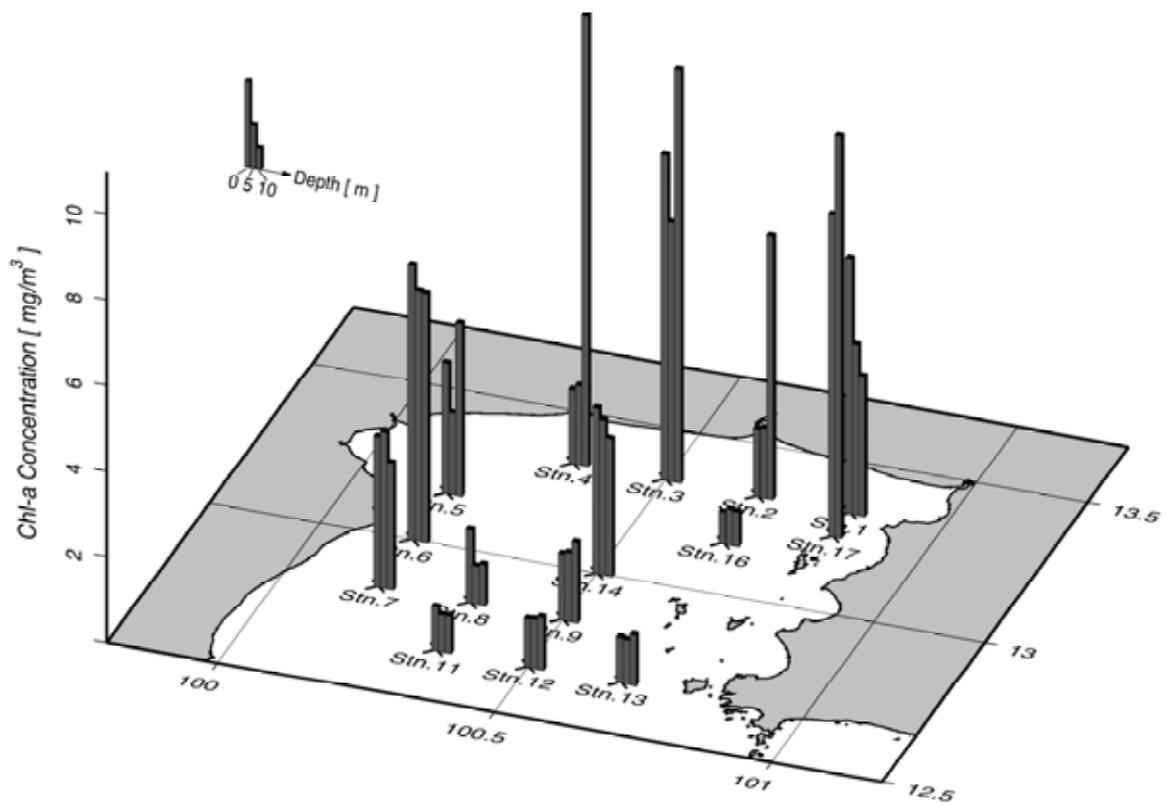


Fig.2 Chlorophyll-a concentration at each observation site.

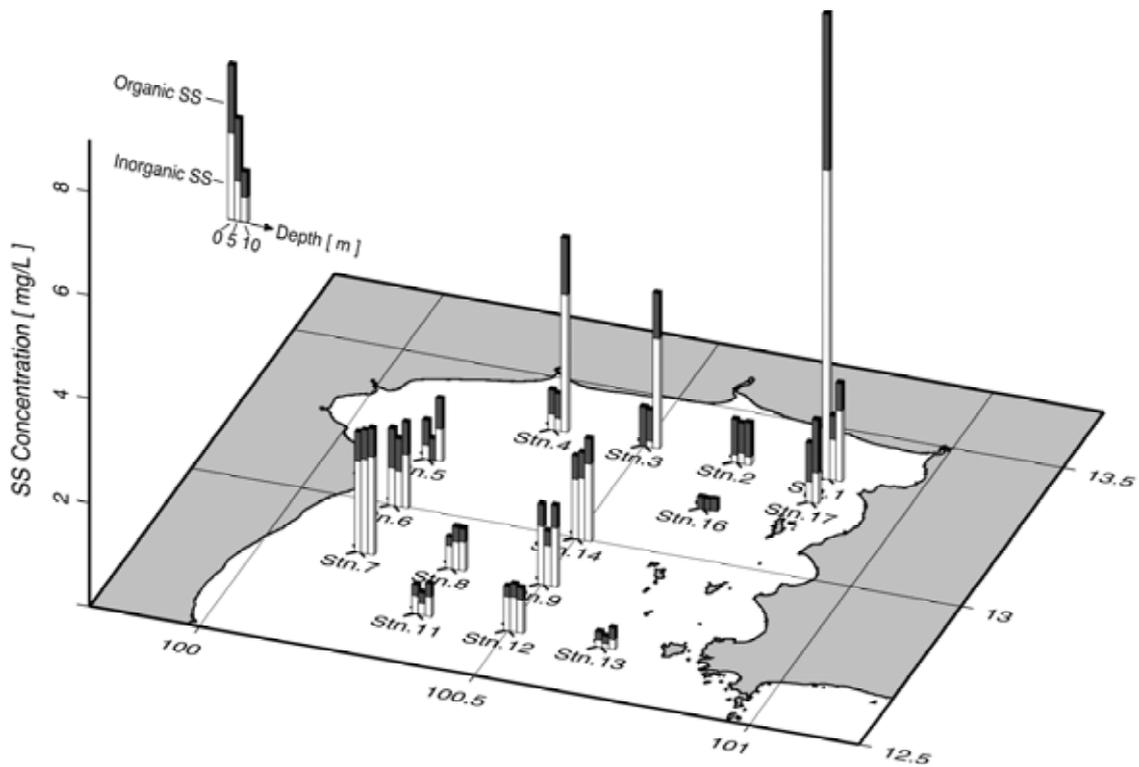


Fig.3 SS concentration at each observation site.

はこの付着の影響を受けるが、有機性 SS 濃度は、付着後のフィルターの加熱前後の重量の差から求めているため、影響を受けない。クロロフィル-a 濃度は、岸に近いほど値が高く、沖

合や湾口部では低い値を示した。また、St.2 から 4 では、深いところで高い値を示した。これらの地点では海底が浅く、沈降していたプランクトンを含む試料水を採取した可能性が考

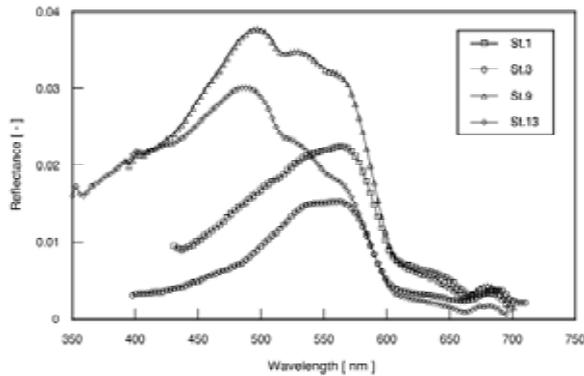


Fig.4 Sub-surface reflectance spectra.

えられる。一方、SS 濃度はタイ湾の西岸および、中央部で高い値を示した。St. 3, 4 ではクロロフィル-a 濃度と同様に深いところで高い値を示した。これも海底に沈殿していた底泥が巻き上げられた物を採水した可能性が高い。

放射観測から推定した水面直下の反射スペクトルを Fig.4 に示す。St.9 は、最も反射率が高く、またそのピークは 500nm 前後であった。この地点は低クロロフィル-a 濃度、高 SS 濃度であり、散乱性の高い SS の濃度が高いためと考えられる。St.1 は、反射率のピークが 570nm 前後であり、この地点は、クロロフィル-a 濃度、SS 濃度共に高い値であった。植物プランクトンの吸収係数は、Fig.5 に示すとおり、短波長領域と 670nm 前後に強い吸収をもっており、それらの波長域の反射率が低くなり、図に示すようなスペクトルになったと考えられる。St.13 は 480nm 前後に St.9 より幅の狭いピークを示した。この地点は、今回の観測地点の中では、クロロフィル-a 濃度、SS 濃度とも低い値であった。そのため、水本来の特性である青色に近いスペクトルを示した。St.3 は高クロロフィル-a 濃度、低 SS 濃度であり、散乱性の高い SS が少ないため、反射率が低く、さらに植物プランクトンが多いため、短波長領域の反射率が低くなったと考えられる。これらの結果から海域の反射率は、植物プランクトンだけではなく懸濁物質の存在量にも影響を受けていることがわかった。

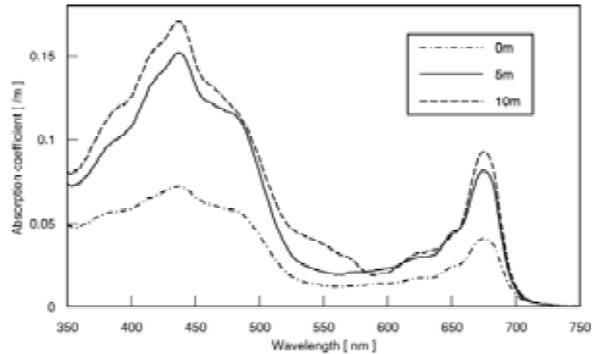


Fig.5 Absorption coefficient spectra of phytoplankton.

5. まとめ

以上のように沿岸域では、放射伝達過程に懸濁物質が大きく寄与していることがわかった。今後はこの懸濁物質の光学的特性をさらに詳しく分析を進め、放射伝達モデルの開発を行う。

謝辞

クロロフィル-a濃度の分析を行うにあたり御指導を頂きました国立極地研究所平譯氏ならびに平野氏に厚く感謝申し上げます。本研究は、第13回テレビ山梨サイエンス振興基金、文部科学省科学研究費若手研究(B) (課題番号15760406) および 21世紀COEプログラム (課題番号1699997) の助成を受けて実施された。

参考文献

- Cleveland, J.S., and A.D. Weidemann, Quantifying absorption by aquatic particles: A multiple scattering correction for glass-fiber filters, *Limnology and Oceanography*, 38, 1321-1327, 1993.
- Kishino, M., M. Takahashi, N. Okami, and S. Ichimura, Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea, *Bulletin of Marine Science*, 37, 634-642, 1985.
- Mitchell, B.G., Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT), in *Ocean Optics*, edited by R.W. Spinrad, pp. 137-148, 1990.
- Suzuki, R., and T. Ishimaru, An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using N,N-Dimethylformamide, *Journal of Oceanographical Society of Japan*, 46, 190-194, 1990.