

# CCDカラーセンサーによる大村湾の水質監視

## A Monitoring of Water Quality in Omura Bay Using a CCD Color Sensor

全 炳徳\*・後藤恵之輔\*・田中 稔\*\*  
Byungdug JUN, Keinosuke GOTOH and Minoru TANAKA

The experimental paper on a digital camera has been published by us in the Proceedings of Civil Engineering in the Ocean, 1994. In this paper, Standard CIE chromaticity analyses are applied to the measurement of upwelling irradiance spectra expressed as transparency and suspended solid amounts using the digital camera and satellite (LANDSAT-5 /TM) data.

The results of these analyses serve as a basis for discussion of several problems (high and low altitude remote sensing techniques) in the application of chromaticity to water quality prediction.

keywords : (digital camera, CCD, chromaticity, remote sensing)

### 1. はじめに

著者ら<sup>1)</sup>は、長崎港の水質状況について、人工衛星データを利用したリモートセンシング技術による海水の水質監視法をチェックするとともに、長崎港付近にあるスカイタワーを利用したデジタルカメラによる水質監視法について試みた。また、このようなデジタルカメラによる水質監視への可能性をチェックするために、室内実験を行いその結果についても公表している<sup>2)</sup>。実験結果から、デジタルカメラのCCDセンサーが、水中の汚れ具合を見事にとらえていることが明らかになっていることから、このような室内実験の結果に基づいた現場調査を行った。

現場調査には、水質としてSS（濁度）と透明度を測ると同時に、デジタルカメラのCCDセンサーによる画像データを撮り、各水質成分との相関性を調べた。その結果、デジタルカメラによるデータと透明度との関係では、RGB（赤、緑、青）バンドの中でRバンドの方が一番高い相関性を持っていた。また、SSとの相関関係は、透明度と同じくRバンドの方で高い相関性があった。水質推測モデルとして、SSと透明度についてそれぞれシングルモデル（SS： $r=0.79$ 、透明度： $r=0.83$ ）とマルチモデル（SS： $r=0.64$ 、透明度： $r=0.77$ ）を作成した<sup>3)</sup>。

本研究では大村湾を研究地域（図-1参考）と選定し、三色係数（色度座標：以下三色係数で統一）法による、デジタルカメラのCCDセンサーデータとSSおよび透明度との相関性を調べるとともに、人工衛星データとの関連性も調査した。また、これらの結果より得られた、デジタルカメラおよび人工衛星データの特徴と推測モデルの使い分けについても述べた。

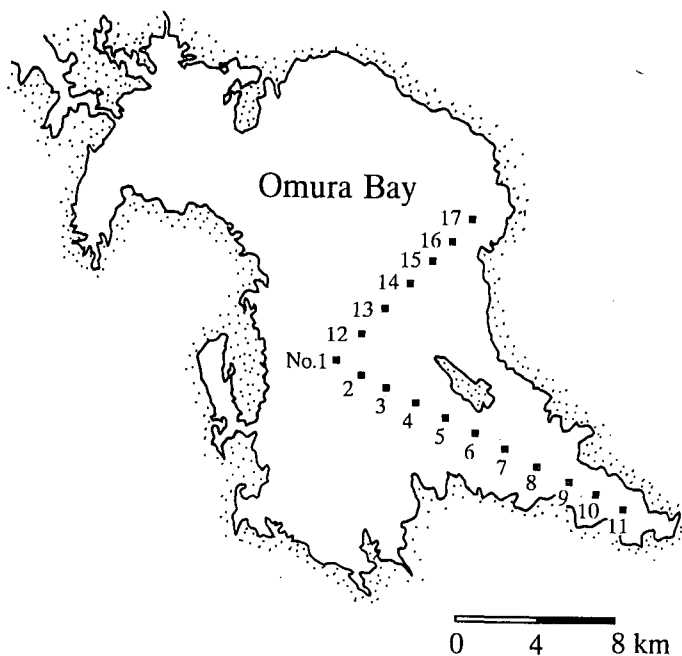


図-1 研究地域（■はデータ収集ポイント）

\* 正会員 長崎大学工学部社会開発工学科 (〒852 長崎市文教町1-14)

\*\* 長崎県工業技術センター

## 2. CCDカラーセンサーの特徴と三色係数

### 2.1 CCDカラーセンサーの特徴と大気補正の必要性

デジタルカメラの感光センサーであるCCDカラーセンサーは、従来の撮像管と異なって、焼きつきがないため半永久的に使うことができることと、2次元画像データを撮るという大きな特徴を持っている<sup>4)</sup>。しかし、リモートセンシング技術者達にとってもっと魅力のある特徴の一つは、当然ながら撮影した画像がデジタル値であるため、リアルタイムで画像処理が可能であるということである。これ以外にも、人工衛星データ処理を行ってきた人たちにとって、雲の影響に関係なくかつ必要とするときに、現場のデータを撮影し処理することができるのは、欠かせない一つの大きな特徴である。

大気補正が必要とするのは、CCDカラーセンサーのこのような特徴を生かして、雲の影響などに関係なく用いる場合、センサーに入射する光量がかなり変化するためである。本研究ではこのような大気補正をするために、白色板を用いる方法を考案した。

### 2.2 三色係数法

光が水中に入射すると、その光は水層の懸濁物質や水中の環境（水深や海底地質など）により、ある波長域を反射したり吸収したりしながら、その水層が持っている独特の色を発散するのである。デジタルカメラは可視光線の中のR（赤）、G（緑）、B（青）の3つのバンドの波長域にわたって、CCDセンサーがそれぞれの輝度を感知し、各バンドの情報をデジタル値としてファイルに納めている。これは可視光線の中において3つのバンド情報さえあれば、人間の目の判断に近い色情報を再生できるからである。また、今回デジタルカメラのCCDセンサーにより得られる三色係数の結果と比較するために用いた、人工衛星データ（ランドサット-5号のTMセンサー）も、CCDセンサーとほぼ同じ波長域から各バンド（バンド-1、2、3）情報を取得している。三色係数法は、可視光線の情報を3つ（R成分、G成分、B成分）に分け、数値として表す方法の一つで、これらのセンサー（CCD、ランドサット-5/TM）による反射光の色分析に適した方法であると言える。

本研究で試みた三色係数法は、既にリモートセンシング分野に適用され、その有効性などが認められている<sup>5)</sup>。しかし、この方法を人工衛星画像データに適用した場合<sup>6)</sup>、高い精度の相関性が得られなかったため、衛星リモートセンシング解析では、あまり利用されていないのが実状である。しかし、その原理から見ると、デジタルカメラに取り付けられているCCDカラーセンサーには、非常に有効でかつ高い相関関係（CCDセンサーと懸濁物質の間）が期待できるのである。

三色係数は最初、水中から出てくる上方向輝度の光量を測定するために用いられたもの<sup>7)</sup>で、その定義は次のとおりである。

$$rf = \frac{R}{R+G+B}, gf = \frac{G}{R+G+B}, bf = \frac{B}{R+G+B} \quad \text{---(1)}$$

$$rf + gf + bf = 1 \quad \text{---(2)}$$

ここで、R：赤波長域情報、G：緑波長域情報、B：青波長域情報、  
rf：赤色係数、gf：緑色係数、bf：青色係数である。

## 3. 研究方法

本研究は先ず、大村湾における現場データ（透明度とSS）を収集（1994.9.7、1994.12.12、1995.3.15）するとともに、同場所のデジタルカメラ撮影を行い、CCDセンサーが撮ったデータの三色係数を求めた。この三色係数は現場の水質データとの相関関係を調べるのに用いた。また、人工衛星（ランドサット-5号）の観測にあわせて同日、同時刻前後に収集（1988.11.9、1990.11.15、1991.1.18）した大村湾の現場データ（透明度）と、人工衛星データの可視光域の3つのバンド（TM-1、2、3バンド）から得られる三色係数を算出し、現場データとの相関関係を調べた。これらの結果から、厚い大気層を挟んで観測した人工衛星データと、大気の影響が殆どないデジタルカメラデータの特徴を調べることができた。

### 3.1 人工衛星データと現場データ収集

以上で用いた現場データ（1994.9.7、1994.12.12、1995.3.15）は、人工衛星の観測日にあわせて収集作業を行ったが、データがまだ手に入らない不都合のため、今回、CCDカラーセンサーデータと比較のために用いた衛星データは、1988.11.9、1990.11.15、1991.1.18日のものであった。また、これらのデー

タは、長崎大学水産学部所属の中型練習船により、大村湾全域にわたって約2時間の間、48ポイントの大量の海水を採集すると同時に透明度データを収集したため、透明度の変化が激しいと思われる所だけの測定に留まったものである。透明度データは1988年11月9日に9ポイント、1990年11月15日に8ポイント、そして1991年1月18日には7ポイントにおいて測定したものである。これらの測定ポイントは、歪んでいる人工衛星画像との重ね合わせ処理を行うために、Welch手法<sup>8)</sup>による幾何補正を行い、測定ポイント上のデジタル値を計算した。これらの結果を表-1、2、3に示す。これらの結果から、三色係数を求め透明度との相関関係を調べた。

表-1 現場データ(1988.11.9)とランドサット-5/TM(1,2,3band)データおよび三色係数の計算値

| No. | Trs.* | band1 | band2 | band3 | Chrm.**(bf) | Chrm.**(gf) | Chrm.**(rf) |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|
| 1   | 11    | 58.2  | 19.5  | 14.6  | 0.63055255  | 0.24894501  | 0.15817985  |
| 2   | 10    | 59.2  | 19.6  | 14.8  | 0.63247863  | 0.24675045  | 0.15811966  |
| 3   | 11    | 58.3  | 19.6  | 14.9  | 0.62823276  | 0.24959176  | 0.16056034  |
| 4   | 10    | 59    | 20    | 15.3  | 0.62566278  | 0.2511753   | 0.16224814  |
| 5   | 16    | 58.3  | 19.9  | 15    | 0.62553648  | 0.25245626  | 0.16094421  |
| 6   | 15    | 59.9  | 19.8  | 15    | 0.63252376  | 0.24647551  | 0.15839493  |
| 7   | 10    | 60.6  | 20.2  | 15.3  | 0.63059313  | 0.24806402  | 0.15920916  |
| 8   | 15    | 60    | 20.3  | 15.6  | 0.62565172  | 0.25084753  | 0.16266945  |
| 9   | 4.5   | 61.1  | 22.1  | 16.7  | 0.61161161  | 0.26368661  | 0.16716717  |

表-2 現場データ(1990.11.15)とランドサット-5/TM(1,2,3band)データおよび三色係数の計算値

| No. | Trs.* | band1 | band2 | band3 | Chrm.**(bf) | Chrm.**(gf) | Chrm.**(rf) |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|
| 1   | 8     | 46.1  | 15.1  | 11.4  | 0.63498623  | 0.24419832  | 0.15702479  |
| 2   | 9     | 45.9  | 15.1  | 11.3  | 0.63485477  | 0.24499125  | 0.15629322  |
| 3   | 7.5   | 45.4  | 14.8  | 11.2  | 0.63585434  | 0.24327759  | 0.15686275  |
| 4   | 6.5   | 45.4  | 14.8  | 11.3  | 0.63496503  | 0.24328115  | 0.15804196  |
| 5   | 8     | 45.3  | 14.5  | 11.2  | 0.63802817  | 0.23991517  | 0.15774648  |
| 6   | 6     | 45.9  | 14.7  | 10.9  | 0.64195804  | 0.24003152  | 0.15244755  |
| 7   | 4     | 47.6  | 16.4  | 12.2  | 0.62467192  | 0.25377305  | 0.16010499  |

表-3 現場データ(1991.1.18)とランドサット-5/TM(1,2,3band)データおよび三色係数の計算値

| No. | Trs.* | band1 | band2 | band3 | Chrm.**(bf) | Chrm.**(gf) | Chrm.**(rf) |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|
| 1   | 11    | 58.2  | 19.5  | 14.6  | 0.63055255  | 0.24894501  | 0.15817985  |
| 4   | 10    | 59    | 20    | 15.3  | 0.62566278  | 0.2511753   | 0.16224814  |
| 5   | 16    | 58.3  | 19.9  | 15    | 0.62553648  | 0.25245626  | 0.16094421  |
| 6   | 15    | 59.9  | 19.8  | 15    | 0.63252376  | 0.24647551  | 0.15839493  |
| 7   | 10    | 60.6  | 20.2  | 15.3  | 0.63059313  | 0.24806402  | 0.15920916  |
| 8   | 15    | 60    | 20.3  | 15.6  | 0.62565172  | 0.25084753  | 0.16266945  |
| 9   | 4.5   | 61.1  | 22.1  | 16.7  | 0.61161161  | 0.26368661  | 0.16716717  |

\* : Transparency, \*\* : Chromaticity

### 3.2 デジタルカメラデータと現場データ収集

デジタルカメラデータと現場データは、長崎県工業技術センター所属の船を利用し、図-1に示している17ポイントにおいて採集を行った。収集したデータを表-4(1994.9.7)、5(1994.12.12)、6(1995.3.15)に示す。これらのデータの内、1994年9月7日のデータは、最初試みとして行ったもので、1-7、10、11ポイントの9点だけの調査であった。

デジタルカメラデータは、パーソナルコンピュータによりRGB成分の3つの画像に分離する画像分解作業を行った。このように分解したそれぞれの画像(RGB)は、画像全体におけるデジタルカウンターの平均値を求め、それぞれのバンド(RGB)が持つデジタル値とした。このようにして求めたデジタルカメラのデータのRGBそれぞれのデジタル値は、式-1、2に基づいて三色係数の赤、緑、青色係数を求めるのに用いた。

表-4 現場データ (1994.9.7) とデジタルカメラのRGBデータおよび三色係数の計算値

| No. | Trs.* | Red band | Green band | Blue band | Chrm.**(rf) | Chrm.**(gf) | Chrm.**(bf) |
|-----|-------|----------|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| 1   | 10.8  | 71.955   | 154.8      | 156.743   | 0.1876281   | 0.40365269  | 0.40871921  |
| 2   | 8.8   | 50.278   | 103.279    | 112.424   | 0.18902854  | 0.38829465  | 0.42267681  |
| 3   | 9.1   | 71.017   | 148.782    | 135.556   | 0.19984804  | 0.41868554  | 0.38146642  |
| 4   | 8.2   | 72.426   | 133.984    | 156.743   | 0.1994366   | 0.36894642  | 0.43161698  |
| 5   | 7.1   | 70.4     | 133.07     | 112.424   | 0.22285957  | 0.4212489   | 0.35589153  |
| 6   | 7.4   | 70.357   | 132.493    | 135.556   | 0.20790707  | 0.39152084  | 0.40057209  |
| 7   | 5.1   | 90.399   | 140.518    | 156.743   | 0.23319146  | 0.36247743  | 0.40433111  |
| 10  | 2.7   | 89.013   | 106.58     | 112.424   | 0.2889873   | 0.34601986  | 0.36499284  |
| 11  | 2     | 117.685  | 140.368    | 135.556   | 0.29898961  | 0.35661786  | 0.34439253  |

表-5 現場データ (1994.12.12) とデジタルカメラのRGBデータおよび三色係数の計算値

| No. | Trs.* | Red band | Green band | Blue band | Chrm.**(rf) | Chrm.**(gf) | Chrm.**(bf) |
|-----|-------|----------|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| 1   | 8.5   | 102.942  | 157.528    | 138.183   | 0.25822457  | 0.39515067  | 0.34662476  |
| 2   | 8.3   | 105.532  | 156.863    | 134.192   | 0.2661005   | 0.39553238  | 0.33836712  |
| 3   | 8.2   | 102.552  | 152.457    | 131.326   | 0.26544838  | 0.39462384  | 0.33992778  |
| 4   | 7.8   | 105.711  | 156.68     | 135.233   | 0.26585669  | 0.3940406   | 0.34010271  |
| 5   | 7.9   | 115.512  | 175.6      | 146.455   | 0.263987    | 0.40130997  | 0.33470303  |
| 6   | 8.1   | 109.559  | 162.196    | 135.713   | 0.26887756  | 0.39805825  | 0.33306419  |
| 7   | 7.3   | 112.643  | 165.368    | 138.407   | 0.27050464  | 0.3971202   | 0.33237516  |
| 8   | 6.8   | 112.724  | 164.183    | 134.114   | 0.27425363  | 0.39945161  | 0.32629476  |
| 9   | 7.3   | 115.726  | 160.158    | 134.291   | 0.28213811  | 0.39046261  | 0.32739928  |
| 10  | 6     | 110.564  | 152.043    | 124.825   | 0.28537653  | 0.3924379   | 0.32218557  |
| 11  | 3.8   | 122.876  | 149.593    | 121.161   | 0.31216117  | 0.38003455  | 0.30780428  |
| 12  | 7.5   | 113.017  | 165.952    | 138.619   | 0.27064236  | 0.39740606  | 0.33195159  |
| 13  | 7.2   | 113.102  | 164.882    | 134.378   | 0.27427843  | 0.39984771  | 0.32587387  |
| 14  | 7     | 116.053  | 160.526    | 134.657   | 0.28220535  | 0.39035007  | 0.32744458  |
| 15  | 7.5   | 103.216  | 152.204    | 133.467   | 0.26541386  | 0.39138362  | 0.34320252  |
| 16  | 7.6   | 105.918  | 156.748    | 135.892   | 0.26575304  | 0.3932878   | 0.34095916  |
| 17  | 7     | 108.262  | 157.283    | 136.648   | 0.26917922  | 0.39106349  | 0.33975728  |

表-6 現場データ (1995.3.15) とデジタルカメラのRGBデータおよび三色係数の計算値

| No. | Trs.* | Red band | Green band | Blue band | Chrm.**(rf) | Chrm.**(gf) | Chrm.**(bf) |
|-----|-------|----------|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| 1   | 7.75  | 84.229   | 134.276    | 120.406   | 0.24852837  | 0.39619841  | 0.35527321  |
| 2   | 7.6   | 70.231   | 106.124    | 94.702    | 0.25910048  | 0.39151913  | 0.34938039  |
| 3   | 7.5   | 84.229   | 134.276    | 120.406   | 0.24852837  | 0.39619841  | 0.35527321  |
| 4   | 6     | 79.747   | 114.924    | 102.489   | 0.26836384  | 0.38674115  | 0.34489501  |
| 5   | 5.4   | 87.735   | 129.02 1   | 09.499    | 0.26891624  | 0.39545875  | 0.335625    |
| 6   | 4.9   | 104.42 1 | 49.134     | 125.17    | 0.2757153   | 0.39378017  | 0.33050454  |
| 7   | 4.5   | 107.931  | 155.977    | 128.255   | 0.27521974  | 0.39773513  | 0.32704513  |
| 8   | 4.2   | 106.116  | 146.255    | 122.586   | 0.28300845  | 0.39005806  | 0.32693349  |
| 9   | 3.9   | 110.273  | 152.914    | 125.725   | 0.28354229  | 0.39318406  | 0.32327365  |
| 10  | 3.85  | 110.429  | 150.111    | 119.836   | 0.29031537  | 0.39463846  | 0.31504616  |
| 11  | 3.5   | 121.873  | 157.528    | 126.985   | 0.29989468  | 0.38763146  | 0.31247385  |
| 12  | 6.5   | 75.751   | 115.522    | 99.942    | 0.26012053  | 0.39668973  | 0.34318974  |
| 13  | 6.5   | 77.981   | 119.723    | 104.336   | 0.25818104  | 0.39638127  | 0.34543769  |
| 14  | 6.5   | 88.223   | 135.292    | 118.914   | 0.25763881  | 0.39509504  | 0.34726615  |
| 15  | 6.8   | 86.502   | 137.216    | 119.513   | 0.25202269  | 0.39977741  | 0.3481999   |
| 16  | 6.5   | 94.259 1 | 42.675 1   | 28.018 0  | .2582778    | 0.39094182  | 0.35078038  |
| 17  | 6.35  | 88.743   | 139.433    | 123.075   | 0.25264839  | 0.39696115  | 0.35039046  |

\* : Transparency, \*\* : Chromaticity

### 3.3 CCDデータと人工衛星データの大气補正

地上から900キロ以上離れている宇宙からの地上観測には、厚い大気の影響を強く受けている。しかし、観測現場に雲などが存在する場合、可視光域のバンドデータは真っ白になってしまうため、画像データとして用いることはできない。雲がなくても宇宙からの観測は、パスラジアンズという大気の影響を受けている。人工衛星データの場合は、この項目を除去する必要がある。本研究で用いたランドサットデータは、雲の影響がなかったため、パスラジアンズ項を除去することだけで大気補正を行った<sup>9)</sup>。

CCDカラーセンサーによるデータは、3回行った現場調査の中で1回(1994.12.12)だけが晴れて、2回は曇りと雨が降っていた気象条件であった。このため3つのデータで極端にRGBバンドデータ値に差が生じている。本研究では、曇りや雨が降ったときの白色板の表面を気象条件に合わせて撮影しておき、基準となる晴れ時の白色板の表面反射輝度(デジタルカウンター)と、他のものとの差を全体的に加算することで、大気条件を一致させることにした。すなわち、晴れの天気であった1994年12月12日は各バンド(RGB)のデジタル値を変更せず、曇りであった1995年3月15日のデータには全体的に+30を加算し、雨が少し降っていた1994年9月7日のデータには+100を加算し、大気条件を一致させた。

## 4. 結果と考察

### 4.1 CCDカラーセンサーデータと三色係数

今回の調査で収集した現場データは、SSと透明度であった。これらの水質項目に対して三色係数を求め、各項目との相関関係を調べた結果、人工衛星データとデジタルカメラデータが両方ともに、SSとはほとんど関係性がないと判明された。しかし、CCDカラーセンサーデータの三色係数の中の赤色係数は、透明度と非常に強い相関関係( $r=0.93$ )があった。人工衛星データはCCDセンサーよりは相関係数が低い値となったが、全く関係のないSSに比べると、高い相関係数( $r=0.73$ )であった。図-2の(a)はCCDカラーセンサーの大气補正前のもので、赤色係数と透明度との関係性を説明している。また、図-2(b)は大气補正後の赤色係数と透明度との関係を表している。

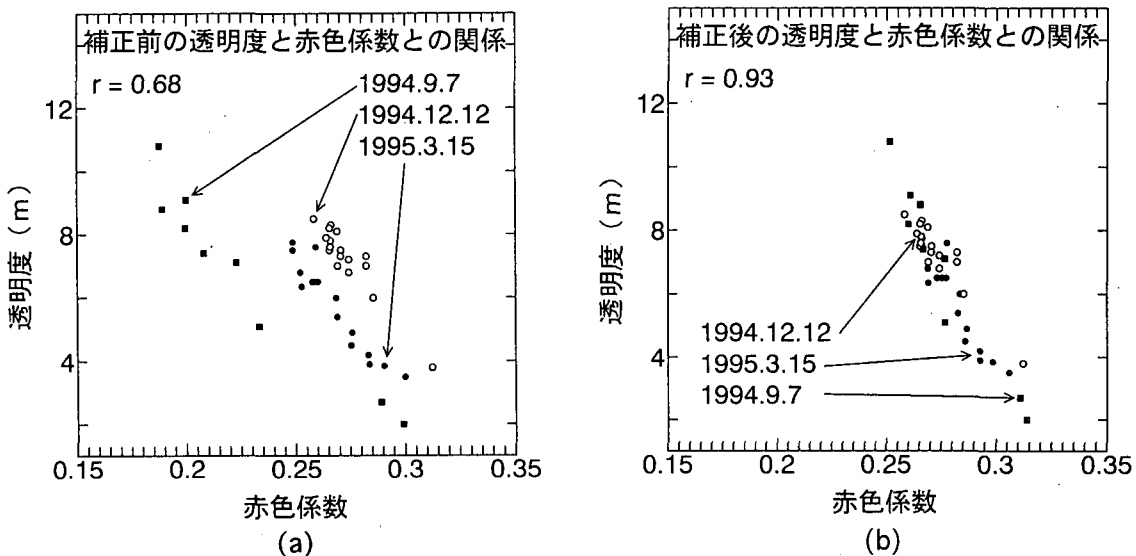


図-2 CCDカラーセンサーの赤色係数と透明度との関係図(大気補正前(a)、後(b))

この結果は、CCDカラーセンサーが水質の透明度監視に有効であることを意味するものである。また、今回著者らは、透明度を測るときに、水の表面反射光がどれくらいの影響を及ぼしているのかを調査するために、表面反射光の影響を受けずに測定した透明度と、表面反射光の影響が入った透明度との関係を調べた。その結果、透明度の深いところにおいては、約0.5メートルの誤差が生じていることが分かった。このデータによりCCDカラーセンサーと相関係数を求めてみると、わずかではあるがCCDカラーセンサーは表面反射光の影響がないもの( $r=0.94$ )のほうが、影響のあるもの( $r=0.93$ )より相関関係が良くなった。これは、CCDカラーセンサーによる水質監視(透明度)が、伝統的な方法よりも省力的で、短時間に済むことを意味する。

### 4.2 人工衛星データと三色係数

人工衛星データの場合、図-3のような結果となった。

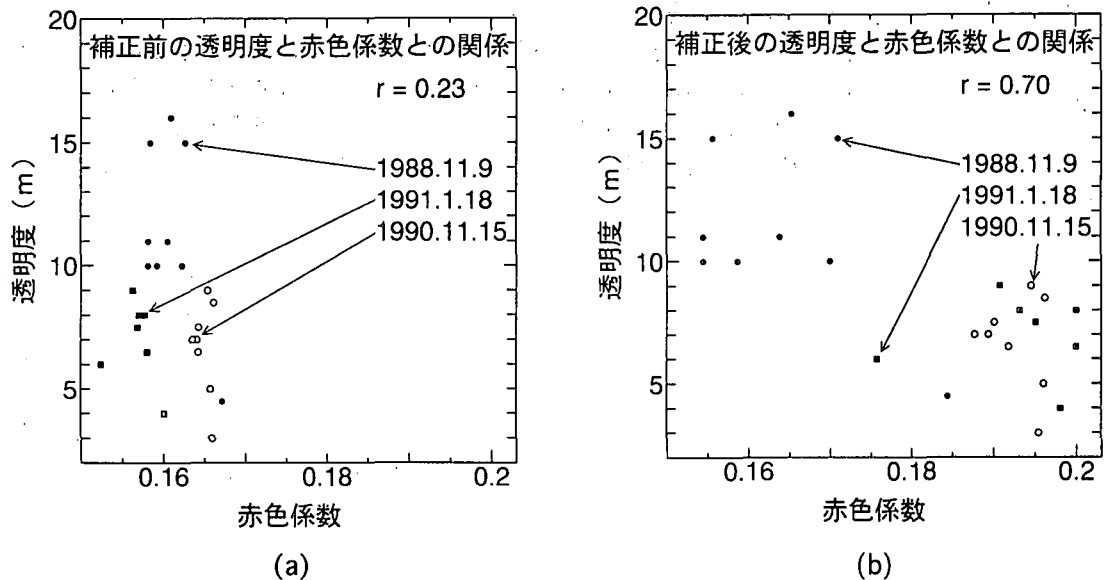


図-3 ランドサット-5号のTMデータの赤色係数と透明度との関係図（大気補正前(a)、後(b)）

人工衛星データにおける三色係数と透明度との関係では、デジタルカメラデータと同じように、赤色係数が一番高い相関係数（ $r=0.73$ ）を持っていた。しかし、青色係数の場合も高い相関関係を持っている結果（ $r=0.70$ ）となった。しかし、これらの結果は、ランドサット-5/TMセンサーのバンド2だけを利用し開発した大村湾の透明度モデル（ $r=0.96$ 以上）に比べると、かなり精度が落ちている。すなわち、人工衛星データにより透明度を推測するには、三色係数法は有効でないのである。

## 5. おわりに

透明度は古くから調査してきており、水質の汚れ具合を簡単にチェックするには非常に役に立つものである。しかし、海のように広域的な現場において透明度などの水質監視のためのデータを収集するには、かなりの労働力、人件費などを要求する。本研究で試みた三色係数法により、CCDカラーセンサーを船に取り付け、船を走らせながら簡単に海水の透明度を高い精度でチェックできることは、省力的で、半永久的に保存できる水質データを得る良い方法であると考えている。

## 参考文献

- 1) 後藤恵之輔、全 炳徳、中村 武弘：衛星リモートセンシングによる長崎港の水質状況調査、海洋開発論文集、Vol. 10, pp. 113 - 118, 1994.6.
- 2) 全 炳徳、後藤恵之輔：デジタルカメラによる水質調査のための室内実験、日本リモートセンシング学会九州支部研究発表会発表論文集、pp.45-48, 1994.9.
- 3) 全 炳徳、後藤恵之輔：デジタルカメラによる大村湾の水質調査、日本リモートセンシング学会第17回学術講演会論文集、pp.17-20, 1994.12.
- 4) トランジスタ技術SPECIAL：特集画像処理回路技術のすべて（2次元CCDカメラの設計・製作）、CQ出版社、No.5, pp. 147 - 163, 1987.9.
- 5) Bukata, R. P., Bruton, J. E. and Jerome, J. H. M. : Use of chromaticity in remote sensing measurements of water quality, Remote Sensing of Environment, Vol. 13, pp. 161 - 177, 1983.
- 6) Wouthuyzen, S. : Analysis of the potential utility of remote sensing data acquired from earth observation satellites for monitoring the coastal zone environment, Graduate School of Marine Science and Engineering, Nagasaki University (a doctoral thesis), 1991.
- 7) Anonymous : International Lighting Vocabulary, Comm. Intern. Eclairage, Pub.1(1), 1957.
- 8) Welch, R., Jordan, T. R. and Ehlers, M. : Comparative evaluations of the geodetic accuracy and cartographic potential of Landsat-4 and Landsat-5 TM image data, Photogramm. Eng. and Remote Sensing, Vol. 51 (9), pp. 1249-1262, 1985.
- 9) Richards, J. A. : Remote sensing digital image analysis, Springer - Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 40 - 41, 1986.