

## 東京灣에서의 海水의 光學的 性質

梁 龍 林·森 永 勤

釜山水産大學 漁業學科 東京水産大學 海洋環境工學科  
(1986년 3월 25일 수리)

### Optical Properties of Sea Water in Tokyo Bay

Yong-Rhim YANG

Department of Fishing Technology, National Fisheries University of Pusan  
Nam-gu, Pusan 608, Korea

and

Tsutomu MORINAGA

Department of Marine Environmental Science and Technology, Tokyo  
University of Fisheries, Tokyo 108, Japan  
(Received March 25, 1986)

Optical properties of sea water were studied in Tokyo Bay, Japan, based on the data obtained from six oceanographic station in April, 1985.

The observation of surface and underwater irradiances of sea water for eight kinds of wavelength (378, 422, 481, 513, 570, 621, 653, and 677 nm) of sun light was conducted using the underwater irradiator (Isigawa # SR-8).

The mean attenuation coefficient of the sea water appeared to be 0.335 (0.081~0.862) and the attenuation coefficient of the sea water for each wavelength appeared as 0.268 for 378 nm, 0.354 for 422 nm, 0.274 for 481 nm, 0.256 for 513 nm, 0.284 for 570 nm, 0.356 for 621 nm, 0.425 for 653 nm, and 0.464 for 677 nm.

The transparency was 5.0 m (2.5~6.5 m), water color was 10.2 (8~14.0) in the study area and the sun altitude was 53.62° (38.54°~66.23°).

The relationship between attenuation coefficient ( $K$ ) and transparency ( $D$ ) was  $K=2.22/D$  (1.30/D ~3.54/D).

The rates of light penetration for eight kinds of wavelength (378, 422, 481, 513, 570, 621, 653, and 677 nm) were computed with reference to the surface light intensity each. The mean rates of light penetration in proportion to depths were 62.72% (42.23~78.43%) in 1 m layer, 11.91% (1.34~29.67%) in 5 m layer, 2.64% (0.023~8.80%) in 10 m layer, and 0.50% (0.02~3.99%) in 20 m layer.

The rate of light penetration at the transparency layer with reference to the surface light intensity was shown as 12.51% (2.91~27.25%).

緒 論

海水的 光學的 性質에 대한 研究는 透明度, 水色, 濁度, 懸濁物質의 量, 水塊構造, 海中에서의 下方向 및 上方向照度分布, 太陽 energy, chlorophyll 濃度, DSL層 등이 주 대상이 되고 있다.

이들 分野의 研究들을 海域別로 보면, 外洋에 대해서는 Jerlov (1951)를 비롯하여 Duntley (1963), Matsuike (1969, 1973), Kampa (1970), Matsuike *et al.* (1979), Smith *et al.* (1973), Matsuike and Morinaga (1977), Yang (1977a, b) 등이 발표하였고, 外國의 沿岸 및 內灣에 대해서는 Sasaki *et al.* (1975), Morel (1978), Sugihara *et al.* (1984), Matsuike *et al.* (1985), Yang and Matsuike (1985) 등이 발표하였으며, 韓國沿近海에 대해서는 Uda (1934, 1936), Hahn (1968), Lim (1975), Yang (1975, 1976, 1978a, b, 1980, 1981, 1982a, b) 등이 보고한 바 있다.

한편, 東京灣을 대상으로 한 研究는 Okami *et al.* (1982), Kishino *et al.* (1984), Matsuike *et al.* (1985), Sugihara *et al.* (1985) 등이 조사 보고한 바 있는데 주로 濁度, 懸濁物의 量과 質, chlorophyll 含量, 海面直下의 上方向分光輝度, 海中의 光束消散係數 등을 조사하였다.

本稿에서는 東京灣內의 透明度, 水色, 太陽光의 8 가지 波長에 대한 海水의 光束消散係數 및 海中透過率 등을 제시함으로써 海洋光學分野에 기여하고자 한다.

材料 및 方法

본 조사는 1985년 4월에 日本 東京灣內의 6개 觀測點에서 8 가지 波長에 대한 海水의 表面照度 및 水中照度, 水色, 透明度, 太陽高度 등을 관측하였다.

觀測船船은 東京水産大學 練習船 青鷲丸 (210 ton) 를 사용하였으며, 觀測點의 位置는 Fig.1 과 같다.

海水의 水中照度는 八色水中照度計 (石川産業 SR-8)를 사용하여 各層의 下方向照度を 측정하였다. 八色水中照度計는 干涉 Filter 를 부착하여 8 가지 波長이 378, 422, 481, 513, 570, 621, 653, 677 nm 로 되어 있으며 半值幅은 각각 10 nm 이다.

8 가지 光에 대한 海水의 消散係數는 관측된 水深別 水中照度を Lambert 의 방정식  $Y = Y_0 \exp(-Kx)$  에 대입하여 구하고, 消散係數가 서로 다른 범위를 선정하고, 表面照도에 대한 水深別 水中照度の 백분

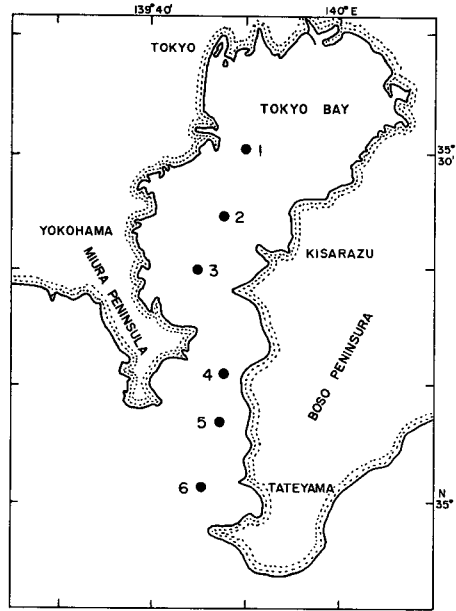


Fig. 1. The station for optical observation.

율을 산출하여 각 波長에 대한 太陽光의 海中透過率 및 透明度層에서의 海中透過率을 조사하였다.

太陽高度는 觀測時刻과 位置를 조사하여 天測歷 (太陽赤緯)과 計算高度方位角表 (H. O. 214 Table)를 이용하여 산출하였다.

水色은 Forel 水色計로, 透明度는 직경 30 cm 의 白色 透明度板을 이용하여 조사하였다.

結果 및 考察

1. 透明度와 水色

東京灣內의 6개 觀測點에서 조사된 透明度와 水色은 Fig.2 와 같다.

調査期間인 1985년 4월에 관측된 透明度는 최소 2.5 m (St.1), 최대 6.5 m (St. 4, 5, 6) 였고 平均透明度는 5.0 m 로서 釜山近海의 3.8 m, 4.7 m (Yang, 1975, 1976) 보다 높았으며, 동해 북동해역의 19.8 m (Yang, 1977a), 北西太平洋의 10.6 m (Yang, 1977 b) 韓國南海沿岸의 5.4 m (Yang, 1978 a), 濟州道近海의 15.8 m (Yang, 1978b), 濟州道北西海域의 16.1 m (Yang, 1981), 大韓海峡의 18.3 m (Yang, 1982 a), 韓國南海의 17.1 m (Yang, 1982 b) 및 日本 東京灣入口의 7.2 m (Yang and Matsuike, 1985)보다 낮은

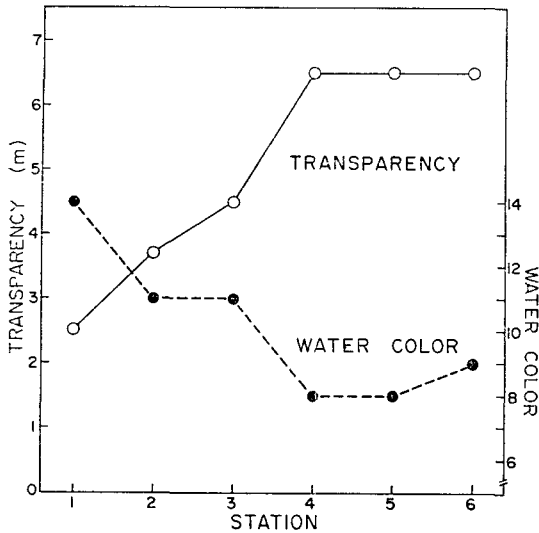


Fig. 2. Transparency and water color.

調査地點別로는 内灣쪽 (St. 1, 2, 3)의 透明度가 外灣쪽 (St. 4, 5, 6) 보다 낮았다.

한편, 水色은 최소 8 (St. 4, 5), 최대 14 (St. 1) 였고 平均水色은 10.2로서 淸무근해의 6.6 (Lim, 1975), 韓國南海沿岸의 5.75 (Yang, 1978 a), 濟州道近海의 3.38 (Yang, 1978 b), 淸州道北西海域의 4.3 (Yang, 1981), 大韓海峽의 3.5 (Yang, 1982 a), 韓國南海의 3.9 (Yang, 1982 b) 및 東京灣入口의 9 (Yang and Matsuike, 1985) 보다 낮았다. 調査地點別로는 St. 1, 2, 3 (内灣쪽)이 St. 4, 5, 6 (外灣쪽) 보다 水色이 낮았다.

## 2. 海水의 消散係數

본 調査海域의 6個 觀測點에서 조사된 太陽光線의 8가지 波長에 대한 消散係數는 Table 1과 같다.

調査期間중에 관측된 海水의 消散係數는 최소 0.081 (St. 6, 20~30 m層, 513 nm), 최대 0.862 (St. 1, 0~5 m層, 422 nm) 였고, 平均消散係數는 0.335로서 釜山近海의 0.413, 0.355 (Yang, 1975, 1976) 및 韓國南海沿岸의 0.578 (Yang, 1978 a) 보다 작았으며, 濟州道近海의 0.112 (Yang, 1978 b), 淸州道漁場의 0.21 (Yang, 1980) 및 日本東京灣入口의 0.30 (Yang and Matsuike, 1985) 보다는 컸다.

波長別 海水의 消散係數는 378 nm 인 경우 0.268 (0.103~0.666), 422 nm 인 경우 0.354 (0.108~0.862), 481 nm 인 경우 0.274 (0.099~0.621), 513 nm 인 경우 0.256 (0.081~0.674), 570 nm 인 경우 0.284 (0.113~0.693), 621 nm 인 경우 0.356 (0.162~0.674), 653 nm 인 경우 0.425 (0.185~0.698), 677 nm 인 경우 0.464 (0.115~0.850) 였는데, 513 nm의 消散係數가 가장 작았고 677 nm의 消散係數가 가장 컸다.

調査地點別로 볼때, St. 5의 平均消散係數가 0.246으로서 가장 작았고 St. 1이 0.571로서 가장 컸는데 이것은 透明度와 水色이 가장 낮은 곳 (St. 1)과 높은 곳 (St. 5)의 차이 때문이라고 생각된다.

한편, 6個 觀測點 모두 上層과 下層의 消散係數가 서로 다른層을 이루었는데, St. 1의 570 nm와 653

Table 1. Spectral irradiance attenuation coefficient (K)

St. No.	Depth (m)	Wavelength (nm)							
		378	422	481	513	570	621	653	677
1	0~5	0.666	0.862	0.537	0.674	0.520	0.674	0.689	0.850
	0~20	0.289	0.725	0.418	0.363	0.693	0.257	0.698	0.827
2	0~5	0.548	0.719	0.621	0.516	0.453	0.591	0.585	0.720
	5~10	0.307	0.330	0.318	0.363	0.309	0.458	0.494	0.560
3	10~20	0.196	0.184	0.155	0.141	0.152	0.307	0.185	0.290
	0~5	0.436	0.540	0.446	0.391	0.333	0.500	0.512	0.622
4	5~20	0.170	0.187	0.175	0.177	0.166	0.266	0.288	0.323
	0~10	0.273	0.321	0.288	0.265	0.255	0.438	0.466	0.527
5	10~20	0.175	0.186	0.170	0.151	0.151	0.267	0.303	0.305
	0~10	0.325	0.337	0.315	0.267	0.243	0.403	0.441	0.520
6	10~30	0.180	0.196	0.131	0.151	0.148	0.162	0.265	0.291
	0~10	0.374	0.409	0.361	0.262	0.310	0.544	0.535	0.489
	10~20	0.190	0.206	0.192	0.188	0.170	0.331	0.347	0.115
	20~30	0.103	0.108	0.099	0.081	0.113	—	—	—

東京灣에서의 海水의 光學的 性質

nm의 경우를 제외하고는 下層보다 上層의 消散係數가 더 컸다.

透明度 D와 海水의 消散係數 K와의 관계는 自然光에 대해서는  $K=1.7/D$  (Poole and Atkins, 1929)인데, 본 해역에서 조사된 8가지 波長에 대해서는 平均  $K=2.22/D$ 로서 自然光에 대하여 조사된 釜山近海의  $K=1.57/D$ ,  $K=1.67/D$  (Yang, 1975, 1976), 韓國南海沿岸의  $K=1.70/D$  (Yang, 1978 a), 濟州道近海의  $K=1.71/D$  (Yang, 1978 b) 및 활렬치漁場의  $K=1.70/D$  (Yang, 1980) 보다는 훨씬 컸으며 8가지 波長에 대하여 조사한 東京灣入口의  $K=2.61/D$  (Yang and Matsuike, 1985)와는 비슷한 경향을 나타냈다. 波長別로는 570 nm (黃綠)가  $K=1.62/D$ 로서 가장 작았으며 677 nm (赤)가  $K=2.93/D$ 로 가장 커서 東京灣入口의 경우 (Yang and Matsuike, 1985)와 같은 경향을 나타냈다. 調査地點別로는 内灣쪽의 St.1이  $K=1.71/D$ 로서 가장 작았으며 外灣쪽의 St.6이  $K=2.67/D$ 로서 가장 컸다.

3. 太陽高度와 光의 海中 透過率

東京灣内の 6個 觀測點에서 관측된 太陽高度는 최소 38.54° (St.1), 최대 66.23° (St.2)였고 平均太陽高度는 53.62° 였다 (Table 2).

본 調査期間中에 조사된 8가지 波長에 대한 下方向照度の 波長別 垂直分布는 Fig. 3과 같고, 下方向照度の 透過率 Spectrum은 Fig. 4와 같다.

여섯개 觀測點에서 조사된 太陽光의 平均海中透過率은 水深 1 m層에서 表面光의 62.72% (42.23~78.43%), 5 m層에서 11.91% (1.34~29.67%), 10 m層에서 2.64% (0.023~8.80%), 20 m層에서 0.50% ( $5.86 \times 10^{-6}$ ~3.99%)로서 濟州道近海 (Yang, 1978b), 활렬치漁場 (Yang, 1980) 및 東京灣入口 (Yang and Matsuike, 1985) 보다는 적은 透過率을 나타냈는데 이것은 본 調査海域이 다른 海域에 비해 透明度와

水色이 낮고 消散係數가 컸기 때문이라고 생각된다. 波長別로 볼때, 570 nm (黃綠)의 透過率이 가장 많았고 다음이 513 nm, 481 nm, 378 nm, 422 nm, 621 nm, 653 nm의 順이었고 677 nm (赤)의 透過率이 가장 적었는데 이것은 東京灣入口 (Yang and Matsuike, 1985)의 경우와 같았다. 調査地點別로 볼때, St.4의 透過率이 가장 많았고 다음이 St.5, St.3, St.6, St.2, St.1의 順으로 적게 나타났다.

光의 水中 透過率은 太陽高度 (Cox and Munk, 1956; Sasaki *et al.*, 1962) 및 消散係數 (Clarke, 1936, 1941)와 밀접한 관계가 있는데 본 調査地點 中에서 太陽高度와 消散係數가 가장 작은 St.5 (38.54°, 0~10 m層의 消散係數 0.356, 10~30 m層 0.191)와 큰 St.1 (58.35°, 0~5 m層의 消散係數 0.684, 5~20 m層 0.534)에서의 海中 透過率을 비교하면 St.1 보다 St.5의 海中 透過率이 더 많았는데 이것은 太陽高度보다 海水의 消散係數가 光의 海中透過에 더 많은 영향을 미치기 때문이라고 생각된다.

透明度層에서의 太陽光의 8가지 波長에 대한 海中 透過率은 Table 2와 같은데, 平均透過率은 表面光의 12.51% (2.91~27.25%)로서 韓國南海沿岸의 17.77% (Yang, 1978a), 濟州道近海의 14.45% (Yang, 1978 b) 및 활렬치漁場의 16.18% (Yang, 1980) 보다는 적었고, 東京灣入口의 9.91% (Yang and Matsuike, 1985) 보다는 많았다. 波長別로는 378 nm의 경우 表面光의 14.00%, 422 nm인 경우 9.67%, 481 nm인 경우 14.58%, 513 nm인 경우 17.44%, 570 nm인 경우 20.22%, 621 nm인 경우 9.38%, 653 nm인 경우 8.83%, 677 nm인 경우 5.97%였는데 677 nm인 光의 透過率이 가장 적었고 570 nm인 光의 透過率이 가장 많아 東京灣入口의 경우 (Yang and Matsuike, 1985)와 같은 경향을 보였다. 調査地點別로는 外灣쪽의 St.6의 透過率이 8.38%로서 가장 적었으며 다음이 St.5의 11.39%, St.2의 11.68%, St.4의

Table 2. Penetration rate of surface irradiance in the transparency layer (D) and the altitude of sun

St. No.	D (m)	Wavelength (nm)								Sun altitude
		378	422	481	513	570	622	653	677	
1	2.5	18.92	11.59	26.12	18.54	27.25	18.54	17.86	11.94	58.35°
2	3.7	13.17	6.99	10.05	14.82	18.72	11.23	11.49	6.99	66.23°
3	4.5	14.05	8.80	13.43	17.21	22.34	10.54	9.99	6.09	64.30°
4	6.5	16.96	12.41	15.38	17.86	19.06	5.80	4.84	3.25	49.56°
5	6.5	12.09	11.19	12.91	17.98	20.61	7.28	5.69	3.40	38.54°
6	6.5	8.79	7.01	9.57	18.21	13.33	2.91	3.09	4.16	44.72°

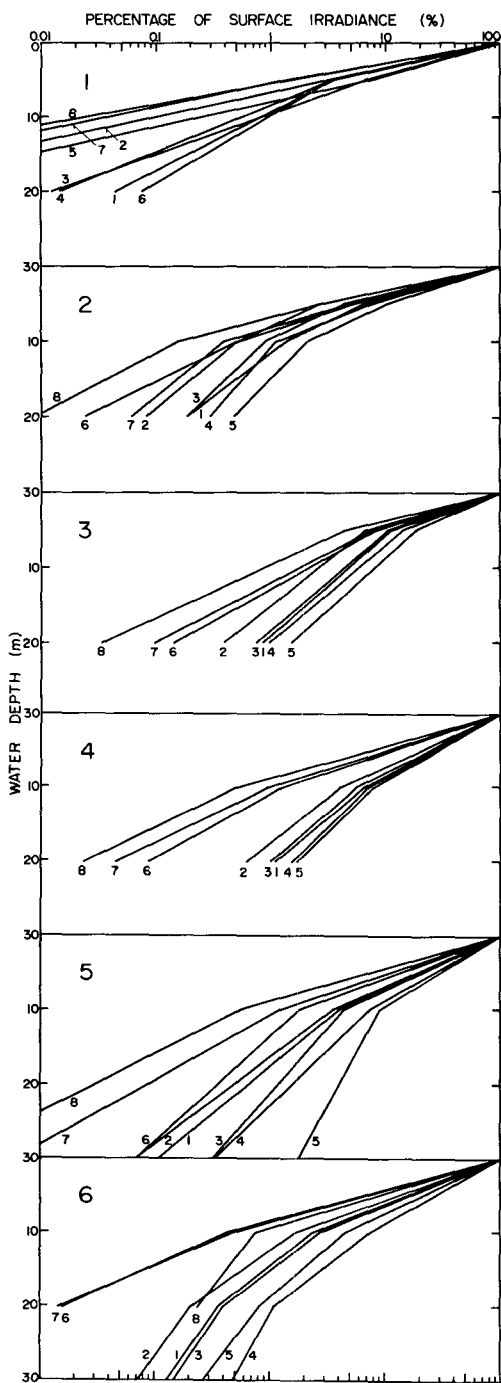


Fig. 3. Vertical distribution rate (%) of downward irradiance at different wavelength.  
 1:378 nm, 2:422 nm, 3:481 nm, 4:513 nm,  
 5:570 nm, 6:621 nm, 7:653 nm, 8:677 nm

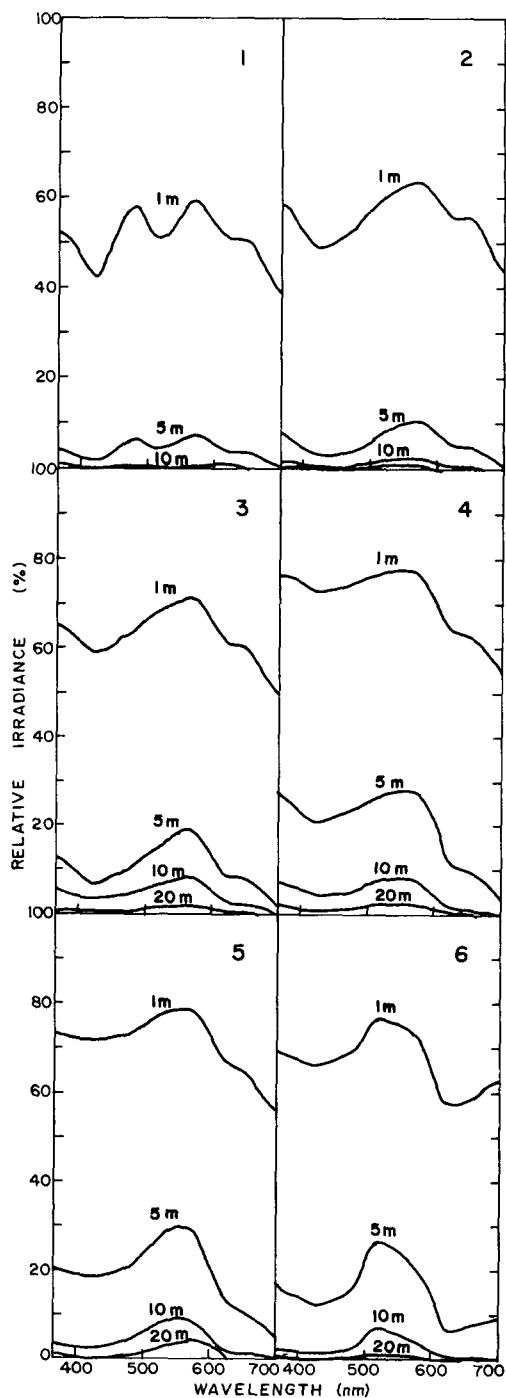


Fig. 4. Relative spectral irradiance distribution of downward irradiance and different depth.

東京灣에서의 海水의 光學的 性質

11.95%, St.3의 12.81%, St.1의 18.85%의 順으로 많았다.

要 約

日本 東京灣内에서의 海水의 光學的 性質을 조사하기 위하여, 1985년 4월에 東京灣内의 6個 觀測點에서 透明度, 水色, 太陽高度, 太陽光의 8가지 波長(378, 422, 481, 513, 570, 621, 653, 677 nm)에 대한 海水의 表面照度 및 水中照度 등을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 調査海域의 透明度는 5.0 m (2.5~6.5 m) 였고, 水色은 10.2 (8~14) 였다.

2. 海水의 平均消散係數는 0.335 (0.081~0.862) 였고, 波長別로는 677 nm 가 0.464, 653 nm 가 0.425, 621 nm 가 0.356, 422 nm 가 0.354, 570 nm 가 0.284, 481 nm 가 0.274, 378 nm 가 0.268, 513 nm 가 0.256 순으로 작게 나타났다.

3. 海水의 消散係數  $K$  와 透明度  $D$  와의 관계는  $K=2.22/D$  ( $1.3/D \sim 3.54/D$ ) 였다.

4. 太陽高度는 53.62° (38.54°~66.23°) 로 나타났다.

5. 太陽光線의 表面光에 대한 平均海中透過率은 水深 1 m 層에서 62.72%, 5 m 層에서 11.91%, 10 m 層에서 2.64%, 20 m 層에서 0.50% 로 나타났다.

6. 透明度層에서의 太陽光線의 海中透過率은 表面光의 12.51% (2.91~27.25%) 였고, 677 nm 의 光이 5.97% 로서 가장 적었으며 570 nm 의 光이 20.22% 로서 가장 많았다.

謝 辭

본 研究를 위하여 많은 도움을 주신 日本 東京水産大學 海洋環境工學科 環境測定工學講座의 松生 洽先生, 高橋 正先生, 測定 및 資料分析에 協力해준 大學院生 平岡 尊宏, 大友 啓一, 足立 久美子諸氏, 海洋觀測에 協力해준 東京水産大學 青鷹丸의 五月女 雄二郎 船長 이하 全 乘組員들에게 깊은 感謝의 意을 表합니다.

文 獻

Clarke, G. L. 1936. The reflection and absorption of daylight at the surface of ocean. J. Opt. Soc. Am. 26, 111—120.

Clarke, G. L. 1941. Observations on transparency in the southwestern section of the North Atlantic Ocean. J. Mar. Res. 4, 210—221.

Cox, C. and W. Munk. 1956. Slopes of the sea surface deduced from photographs of sun glitter. Bull. Scripps Inst. Oceanog. Univ. Calif. 6, 401—488.

Duntley, S. Q. 1963. Light in the sea. J. Opt. Soc. Am. 53, 214—233.

Hahn, S. 1968. The relationship between the water color and the transparency in the seas around Korea. Oceanol. Soc. Korea 3, 55—62.

Jerlov, N. G. 1951. Optical studies of ocean water. Rept. Swedish Deep-Sea Expedition 3, 1—59.

Kampa, E. M. 1970. Underwater daylight measurements in the sea of Cortez. Deep Sea Res. 17, 271—280.

Kishino, M., Charles R. Booth and N. Okami. 1984. Underwater radiant energy absorbed by phytoplankton, detritus, dissolved organic matter and pure water. Limnol. Oceanogr. 29, 340—349.

Lim, D. B. 1975. On the optical properties of coastal water near Chungmu. Bull. Tong Yeong Fish. Jr. Coll. 10, 13—20.

Matsuike, K. 1969. The optical characteristics of the water in the three oceans. (Ⅲ). J. Oceanog. Soc. Japan, 25, 81—90.

Matsuike, K. 1973. A study on optical nature in oceanic waters. La mer 11, 1—44.

Matsuike, K. and T. Morinaga. 1977. Beam attenuation and particlesize distribution in the Kuroshio area. *ibid* 15, 82—93.

Matsuike, K., Y. Nakamura and M. Haga. 1979. Aerial and submarine spectral solar energy distributions and optical characteristics of the waters in Bering Sea during summer. *ibid* 17, 1—10.

Matsuike, K., T. Morinaga and T. Miyazawa. 1985. Studies in oceanic remote sensing. J. Tokyo Univ. Fish. 72, 111—125.

Morel, A. 1978. Available, usable and stored radiant energy in relation to marine photosynthesis. Deep-Sea Research. 25, 673—688.

Okami, N., M. Kishino, S. Sugihara, N. Take-

- matsu and S. Unoki 1982. Analysis of ocean color spectra (Ⅲ). J. Oceanog. Soc. Japan, 38, 362—372.
- Poole, H. H. and W. R. G. Atkins. 1929. Photoelectric measurements of submarine illumination throughout the year. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 16, 297—324.
- Sasaki, T., K. Matsuike, K. Inoue, T. Takahashi, I. Kosuga, T. Morinaga, Y. Ikeda, T. Koike, J. Takeuchi and M. Kitaguchi. 1975. Oceanographic survey of the waters off Motobu peninsula and in Nago Bay. La mer 13, 113—133.
- Sasaki, T., S. Watanabe, G. Oshiba, N. Okami and M. Kajihara. 1962. On the instrument for measuring angular distribution of underwater radiance. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 28, 489—496.
- Smith, R. C., J. E. Tyler and C. R. Goldman. 1973. Optical properties and color of Lake Tahoe and Crater Lake. Limnol. and Oceanog. 18, 189—199.
- Sugihara, S., M. Kishino and N. Okami. 1984. Contribution of raman scattering to upward irradiance in the sea. J. Oceanog. Soc. Japan. 40, 397—404.
- Sugihara, S., M. Kishino and N. Okami. 1985. Correlation of chlorophyll concentration and suspended solids with nearsurface upward irradiance within Landsat bands 4,5 and 6. *ibid.* 41, 81—88.
- Uda, M. 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent water in May and June, 1932. J. Imp. Fish. Exp. Stha. 5, 57—190.
- Uda, M. 1936. Result of simultaneous oceanographic investigations in the Japan Sea and its adjacent waters during October and November 1933, *ibid.* 7, 51—151.
- Yang, Y. R. 1975. Optical properties of sea water (I). Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 11, 8—14.
- Yang, Y. R. 1976. Optical properties of sea water (II). *ibid.* 12, 7—12.
- Yang, Y. R. 1977a. Optical properties of sea water in the Japan Sea. Bull. Korean Fish. Soc. 10, 173—177.
- Yang, Y. R. 1977b. Optical properties of sea water in the Northwest Pacific, *ibid.* 10, 237—241.
- Yang, Y. R. 1978a. Optical properties of sea water (IV). Bull. Korean Fish. Tech. 14, 37—41.
- Yang, Y. R. 1978b. Optical properties of sea water in the sea near Jeju-do. Bull. Nat. Fish. Univ. Busan, 18, 31—35.
- Yang, Y. R. 1980. Optical properties of sea water in the fishing ground of anchovy. Bull. Korean Fish. Soc. 13, 95—101.
- Yang, Y. R. 1981. Optical properties of sea water in the northwestern waters of Jeju Island. Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 17, 53—58.
- Yang, Y. R. 1982a. Optical properties of sea water in the western channel of the Korea strait. Bull. Korean Fish. Soc. 15, 171—177.
- Yang, Y. R. 1982b. Optical properties of sea water in the southern sea of Korea. Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 18, 63—69.
- Yang, Y. R. and K. Matsuike. 1985. Optical properties of sea water. Entrance of Tokyo Bay, Japan (1). Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 21, 105—111.