

日本周辺海域における漁業生産量と 海域の基礎生産量の指標としての透明度との関係

長田 宏¹⁾・小川 嘉彦²⁾

Relationship between Fishery Production and Secchi Disk Readings as an Index of Primary Production in the Seas Adjacent to Japan

Hiroshi NAGATA¹⁾ and Yoshihiko OGAWA²⁾

Abstract

Available data reveal that, from 1978 through 1992, a significant negative correlation consistently occurs between the annual commercial catches and the annual mean transparencies (Secchi disk readings) for 20 sea areas adjacent to Japan. This shows that commercial catches are high in low transparency and low in high transparency areas, respectively. There also exists a negative correlation between the total commercial catch and the mean transparencies of areas among the years from 1978 through 1992. This suggests that low/high transparency years leads to high/low commercial catch. These facts confirm that measurements of transparencies (Secchi disc reading) can be a practical and useful indicator of primary production in the seas.

Key words : fishery production, primary production, Secchi disk reading, transparency

緒 言

有用水産動物を含むほとんどの海産動物は、その餌料を究極的には植物プランクトンによる基礎生産に依存していることはよく知られている(例えば, SMITH and EPPLEY 1982; NIXON 1988; LEGENDRE 1990). それ故、基礎生産量は漁場の生産力を評価する上で最も基本的な要素の一つであるが、日本周辺海域における基礎生産量の実測データの蓄積は十分ではない(ICHIMURA 1980). しかしながら、既往の研究成果から基礎生産量とクロロフィル a 量との間には正の相関があることが明らかになっている(TANIGUCHI 1972; MANTYLA *et al.* 1995). さらに、クロロフィル a 量と透明度との間には負の相関が認められている(SALJO and ICHIMURA 1960; SHEMSHURA *et al.* 1982; 長田 1996). これらの関係を基に透明度から推定した基礎生産量の分布は、これまで実測によって明らかになった基礎生産量の分布とよく一致している(長田ら 1996). このことは、透明度がクロロフィル a 量とともに基礎生産量の有効な指標であることを示している.

1997年1月24日受理 日本海区水産研究所業績A第513号

¹⁾ 〒951 新潟市水道町1丁目5939-22 日本海区水産研究所

(Japan Sea National Fisheries Research Institute, Suido-cho, Niigata 951, Japan)

現 西海区水産研究所 〒850 長崎市国分町49

(Present Address : Seikai National Fisheries Research Institute, Kokubu-machi, Nagasaki 850, Japan)

²⁾ 〒236 横浜市金沢区福浦2丁目12-4 中央水産研究所

(National Research Institute of Fisheries Science, Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama 236, Japan)

別に、漁業生産量と透明度との関連性を検討した報告例がある。例えば、小川・中原(1971)が山口県日本海沿岸において、カタクチイワシ漁況と透明度との間に負の相関関係があること、そして多々良(1981)は瀬戸内海の各灘において透明度が低いほど漁業生産量が増大する傾向があることを指摘している。これらは、特定の沿岸、内湾域についての報告であるが、前述のように透明度が基礎生産量の指標として有効であることを考えると、海域の基礎生産量がそこで漁業生産量を概ね決定していることを示した事例であると理解することができる。

著者らは、亜寒帯海域から亜熱帯海域までを含む日本近海における漁業生産量と基礎生産量の指標としての透明度との関連性について検討した。その結果、両者の間に有意な負の相関が認められたので報告する。このことは、透明度が海域の基礎生産量の多寡を表すよい指標となり得ることを、漁業生産量との関連性の面から裏づけている。

本文に先立ち、本論文をご校閲いただいた東北大学農学部教授谷口旭博士並びに日本海区水産研究所海洋環境部長黒田一紀博士に心から感謝申し上げます。また、有益なご助言をいただいた日本海区水産研究所海洋動態研究室長平井光行博士にお礼申し上げます。さらに、透明度の資料をご提供いただいた日本海洋データセンターに深謝します。

資料及び方法

本報では日本周辺海域を20の海域に区分し(Fig. 1)、1978年から1992年までの15年間の各海域における年間漁業生産量と年平均透明度との相関関係を検討した。

海域区分及び漁業生産量のデータは、農林水産省の統計資料に基づいている。漁業生産量は本来、単位努力量当たりの漁獲量(CPUE)に換算した数値を比較すべきであるが、海域・季節によって漁獲対象魚種は多様であり、漁法にも大きな差異があるため、CPUEを算出することは難しい。したがって、本報では魚類と介類を合わせた単位面積当たりの年間漁業生産量をそのまま用いた。

透明度のデータは、水産庁発行の「水産試験研究機関海洋観測資料」を利用したほか、日本海洋データセンターからも提供を受けた。これらの資料に基づいて、Fig. 1に示した海域毎に透明度のデータを抽出し、各海域の年平均透明度を求めた。

透明度のデータは20海域すべてで毎年揃っているとは限らなかったため、年間漁業生産量との関係を検討できた海域の数は年によって異なっている。また、両者の関係は一次式、双曲線式、指数関数式等の様々な式に当てはめることができたが、 $\log F = a + bT$ の指数関数式に当てはめた場合が最も決定係数の値が大きかったため、この数式で表すこととした。ここで、 F は単位面積当たりの年間漁業生産量(tons/km²/year)、 T は年平均透明度(m)、 a 、 b は定数である。

結果及び考察

1978年から1992年までの年間漁業生産量と年平均透明度との関係を各年について検討した。その結果、年間漁業生産量(対数値)と年平均透明度との間には、15年間のすべての年において5%あるいは1%の危険率で有意な相関係数(-0.566~-0.869)が得られ、両者の間に負の相関関係が存在することが明らかになった(Table 1, Fig. 2)。すなわち、日本周辺海域では、透明度が低い海域ほど漁業生産量が多く、逆に透明度が高い海域ほど漁業生産量が少ない傾向があり、しかもその傾向はいずれの年についても認められる。さらに、15年間にわたる各海域の平均年間漁業生産量(F , tons/km²/year)と年平均透明度(T , m)との関係についてみると、1%

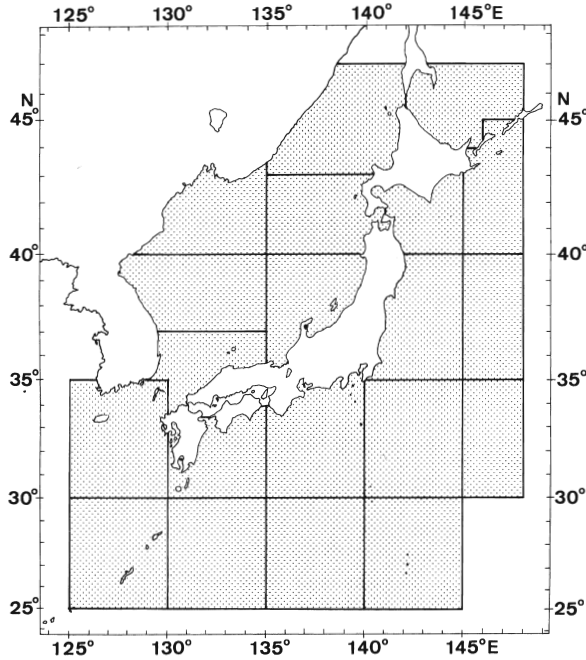


Fig. 1. Map showing the 20 areas (dotted regions) for which catch statistics are available. The transparency data were averaged for each of the areas.

Table 1. Relationship between the annual catch (F , tons/km²/year) and the annual mean transparency (T , m) from 1978 to 1992. Notations a , b , SE, n and r show the intercept, slope, standard error, number of data and correlation coefficient respectively.

Regression equation					
$\log F = a + bT$					
Year	a	b	SE	n	r
1978	1.713	-0.101	0.67	18	-0.571*
1979	2.467	-0.143	0.57	18	-0.751**
1980	1.886	-0.117	0.52	20	-0.793**
1981	1.529	-0.097	0.53	19	-0.781**
1982	2.166	-0.138	0.62	18	-0.784**
1983	3.304	-0.195	0.54	18	-0.869**
1984	2.360	-0.153	0.68	18	-0.808**
1985	2.648	-0.158	0.52	17	-0.853**
1986	1.800	-0.126	0.76	16	-0.566*
1987	1.035	-0.082	0.84	16	-0.568*
1988	1.834	-0.130	0.76	16	-0.619*
1989	1.983	-0.129	0.93	14	-0.614*
1990	1.790	-0.104	0.82	15	-0.627*
1991	1.177	-0.078	0.81	15	-0.684**
1992	2.194	-0.136	0.80	14	-0.683**

*significant at 95%level, **significant at 99%level

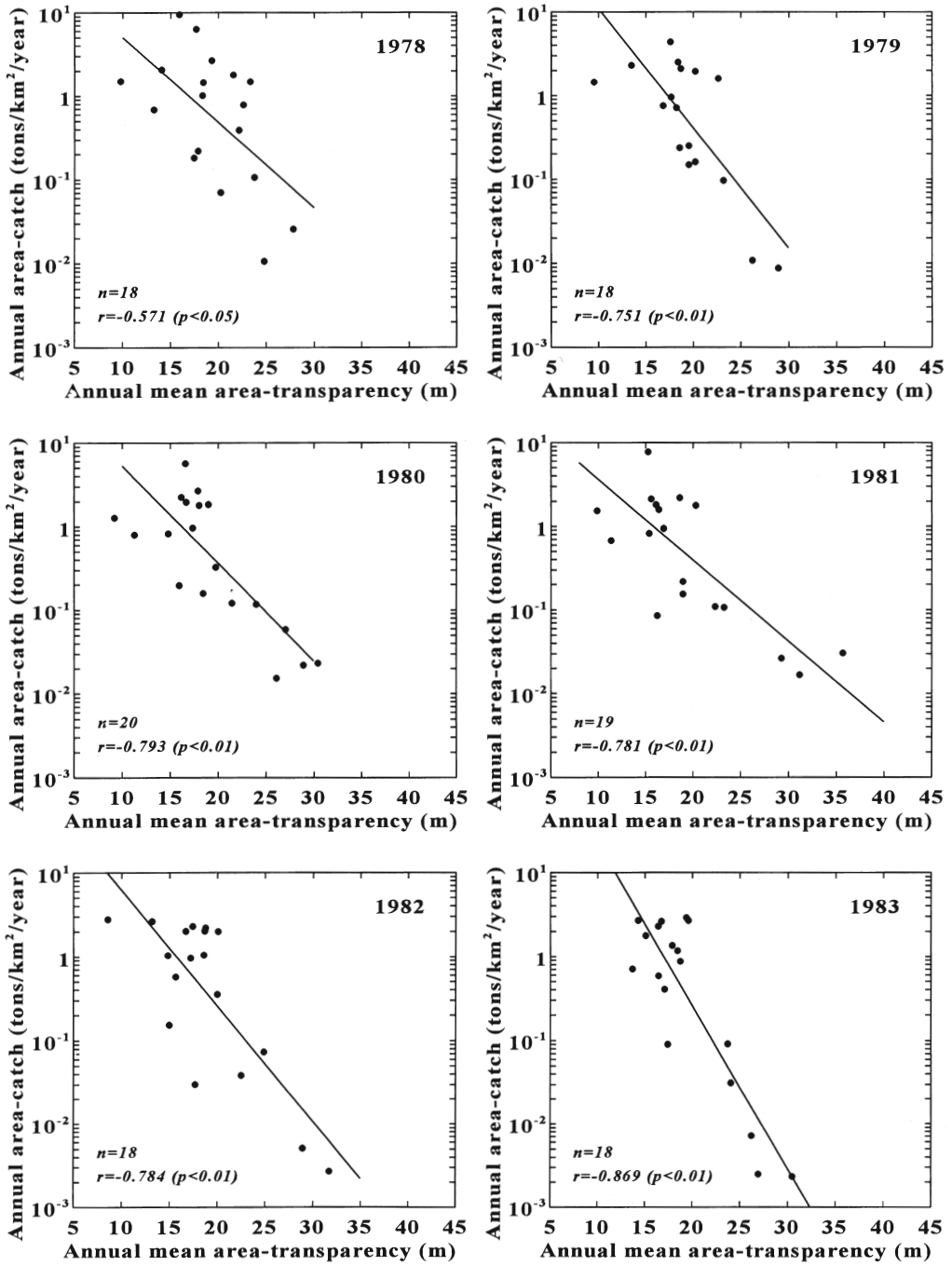


Fig.2. Relationships between the annual mean area-transparency (m) and the annual area-catch (tons/km²/year) for each year, 1978 to 1992 in the areas shown in Fig. 1.

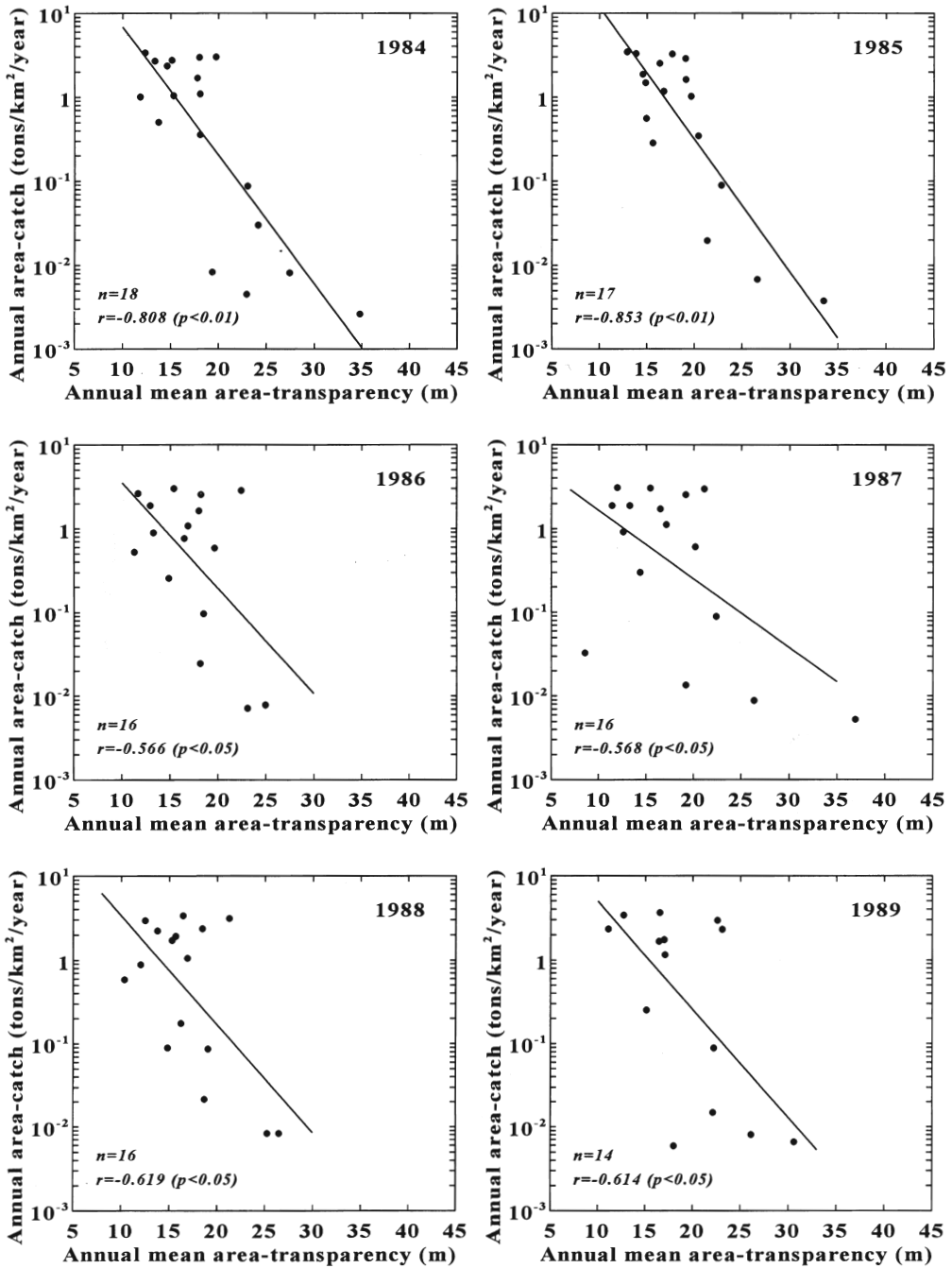


Fig.2. Continued

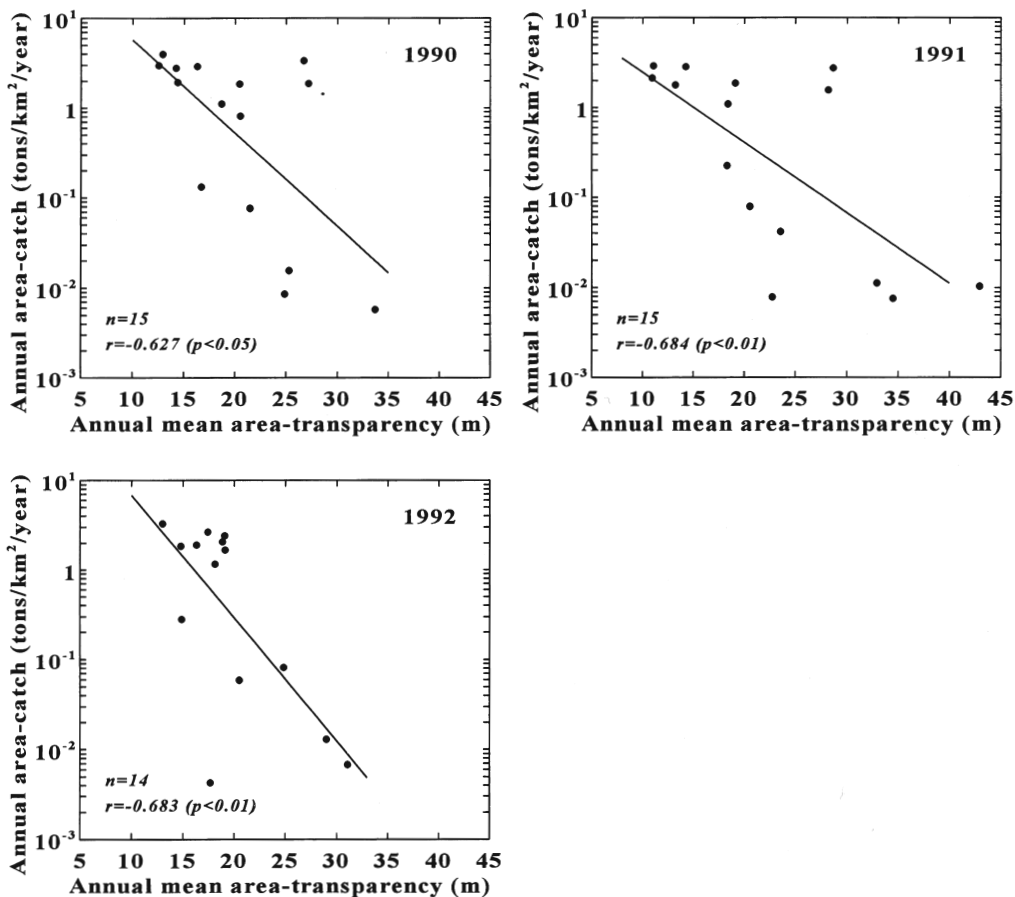


Fig.2. Countinued

の危険率で有意な相関が認められ、両者の関係は、

$$\log F = 1.927 - 0.120T$$

の回帰式で示すことができる (Fig. 3).

年間漁業生産量と年平均透明度のデータの分布パターンからは、①日本周辺海域では年平均透明度はほとんどの場合10~30mの範囲にあり、海域による変化の幅は大きくても4.5倍程度であるのに対して、②面積当たりの年間漁業生産量には10⁻² tons/km²/year以下から10 tons/km²/year以上まで、海域間で1000倍以上の大きな変化の幅があること、そして、③海域間の透明度の比較的小さな差に対して漁業生産量は大きな差を示していることが分かる (Figs. 2, 3). このことは、長田(1996)が明らかにした、クロロフィルa量は透明度のわずかな変化に対応して大きく変化するという事実と関連して注目される. すなわち、透明度の比較的小さな差に漁業生産量の大きな差が対応している、実際にはクロロフィルa量の相当量の変化に対応して漁業生産量が変化していると理解することができる.

漁業生産量と透明度との間に見られる有意な負の相関を表す回帰式の係数の個々の値は年によって一定ではない (Table 1). そこで、共分散分析によって回帰式の傾きと切片について年

による差の有無を検定した。その結果、傾きについては1981年と1983年、1983年と1991年との間に有意な差 ($p < 0.05$) が認められたものの、それ以外の年については有意な差は認められなかった。さらに切片については、15年間のすべての年について有意な差は認められなかった (Appendix Table 1)。このように、1978年から1992年まで各年の回帰式の係数の値には統計的な差異がほとんど認められなかったことは、透明度と漁業生産量との関係はどの年についても大きな差はないと判断してよいことを示している。

さらに、日本周辺の全海域 (Fig. 1) を合わせた漁業生産量と透明度の平均値を1978年から1992年までの各年について求め、両者の関係を検討した (Fig. 4)。日本周辺海域全体の平均漁業生産量は $1.0 \sim 1.6 \text{ tons/km}^2/\text{year}$ 、年平均透明度は $18.1 \sim 21.7 \text{ m}$ の範囲を変動している。このうち、1978年から1981年までの4年間は比較的透明度が低く、面積当たりの漁業生産量が高い年となっている。これらの年に比べれば、1983、1990、1991年等は透明度が高く、かつ、面積当たりの漁業生産量が比較的低い年と言える。15年間を通してみると両者の相関係数は -0.499 であり、必ずしも高い相関係数とは言えないものの、10%の危険率で見れば有意であった。すなわち、概略的には日本周辺海域では透明度が低い年ほど漁業生産量は高く、逆に透明度が高い年ほど漁業生産量が低い傾向があるとみなすことができる。

実際の漁業生産量と透明度との関係は、各海域の平均値 (Figs. 2, 3) をみても、また海域全体の平均値 (Figs. 4) をみても、かなりバラツキが大きい。その大きな理由は、漁業生産量は必ずしも海域における高次生物の生産量と同じではないという点にあると考えられる。漁業生産量としてあげられるのは経済的価値をもち、漁業という産業の対象となる有用種のみに限られており、その海域の全ての高次生物の生産量を示していないことに注意する必要がある。

また、年々の漁業生産の質的な変化も、相関図 (Figs. 2, 3) 上の点のバラツキが大きくなっている理由として考えられる。1978年から1992年までの我が国の沿岸及び沖合漁業の生産量は、

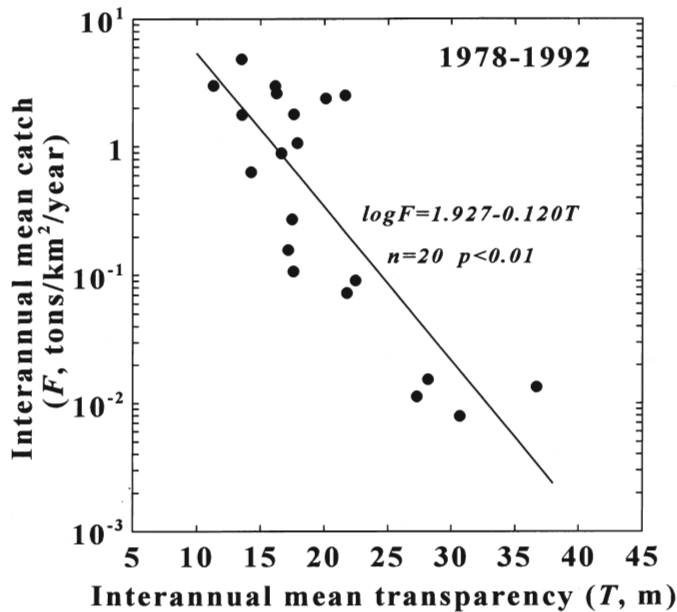


Fig. 3. Relationship between the annual mean transparency (T , m) and annual catch (F , tons/km²/year) averaged over 1978-1992 in the 20 areas shown in Fig. 1. Regression equation obtained is $\log F = 1.927 - 0.120T$.

1978年から1980年代前半に増大して、1985年前後にピークに達し、その後の1989年から減少に転じて、1992年の漁業生産量はピーク時の80%程度に留まっている。これは、沖合漁業の生産量の変化、とりわけマイワシの漁業生産量の著しい増減が大きな影響を与えているためである(農林統計協会 1994)。マイワシの漁業生産量が増大していた1980年代に注目すると、平均漁業生産量と年平均透明度との間の相関係数は -0.657 ($p < 0.05$)であり、統計的に有意な差は認められないものの、全期間を通した相関係数(-0.499)よりも高い(Fig. 4)。このことは、1978年から1992年までの間で、1980年代は漁業生産量と透明度との関係が特に密接であったことを示している。マイワシは各種の動植物プランクトンを摂食するが、珪藻、渦鞭毛藻を中心とする植物プランクトンを摂食する割合が高い(近藤ら 1976; KAWASAKI and KUMAGAI 1984)。すなわち、マイワシは栄養段階が魚類では低位にあり、他の魚種に比べて基礎生産に直接依存する傾向が強い魚種と言える。したがって、マイワシの漁獲量の顕著な変動(例えば、CHIKUNI 1985; KAWASAKI 1991)が、漁業生産量と透明度との関係に影響を与えている可能性を指摘することができる。しかし、マイワシの漁業生産量がピークに達している1985年前後における面積当たりの平均漁業生産量は、他の年に比べて必ずしも高くなく(Fig. 4)、マイワシの生産量そのものが両者の関係に直接関与しているとは言い切れない。むしろ、マイワシを含む様々な魚種の生産量の合計で検討していることが、漁業生産量と透明度との関係のバラツキを大きくしている原因の一つであると考えらるべきであろう。

他方、透明度で植物プランクトン現存量あるいは基礎生産量を指標し得るとしても、基礎生産から魚類生産までの過程は海域によって異なることも、漁業生産量と透明度との関係のバラツキを大きくしている原因と考えられる。例えば、海洋の表層における生物生産機構に着目してみると、亜寒帯海域と亜熱帯海域とは異なっていることが指摘されている(谷口 1992)。すなわち、亜寒帯海域では大型の植物プランクトンが卓越し、大型の動物プランクトンから浮

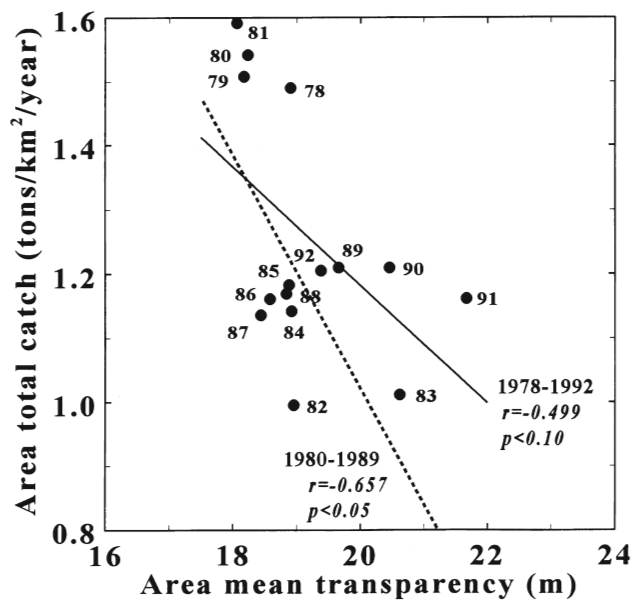


Fig. 4. Relationship between the annual mean transparency (m) and the annual catch (tons/km²/year) averaged for the 20 areas shown in Fig. 1 among the period from 1978 to 1992 (solid line), and among 1980s (broken line). Numerals in the figure indicate the year.

魚類へと食物連鎖が延びているのに対し、亜熱帯海域では動植物プランクトンはいずれも小型であり、物質は微生物環(AZAM *et al.* 1983)の中を循環するだけで大型動物プランクトンや浮魚類の生産にはつながりにくいと考えられている(谷口 1992)。

このように、漁業生産量は厳密には高次生物の生産量と同一ではない上に、日本周辺海域における漁業生産は年によって質・量ともに変動が大きく、それを支える生物生産機構も海域によって多様である。にもかかわらず、亜寒帯海域から亜熱帯海域までを含めた日本周辺の広い海域における漁業生産量と透明度との間に一定の関係が認められるという事実は、透明度とクロロフィル a 量との間に負の相関関係があり(長田 1996)、透明度は植物プランクトン現存量、ひいては基礎生産量のよい指標になるという事実(長田ら 1996)から分析すると、日本周辺海域における漁業生産量は、基本的には海域の植物プランクトン現存量あるいは基礎生産量の多寡によって規定されていることを意味している。これは、漁業生産量と透明度との関係に年による大きな差異が認められないこと、また透明度が低い年ほど漁業生産量が高い傾向にあるということによっても裏づけられる。以上の結果は逆に、透明度が海域の基礎生産力を表すよい指標であることを、漁業生産量との関連性の面から示したものと言える。

文 献

- AZAM, F., FENCHEL, T., FIELD, J. G., GRAY, J. S., MEYER-RELL, L. A. and THINGSTAD, F. (1983) The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **10**, 257-263.
- CHIKUNI, S. (1985) The fish resources of the northwest Pacific. *FAO Fisheries Technical Paper*, (266), pp. 190.
- ICHIMURA, S. (1980) A short review on the primary productivity in different parts of the North Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, **18**, 23-30.
- KAWASAKI, T. (1991) Long-term variability in the pelagic fish populations. pp47-60. In *Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and Their Environment*, ed. by KAWASAKI, T. *et al.*, Pergamon Press, Oxford.
- KAWASAKI, T. and KUMAGAI, A. (1984) Food habits of the Far Eastern sardine and their implication in the fluctuation pattern of the sardine stocks. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **50**, 1657-1663.
- 近藤 恵一・堀 義彦・平本紀久雄 (1976) マイワシの生態と資源。水産研究叢書30, 日本水産資源保護協会, 東京, 68pp.
- LEGENDRE, L. (1990) The significance of microalgal blooms for fisheries and for the export of particulate organic carbon in oceans. *J. Plankton Res.*, **12**, 681-699.
- MANTYLA, A. W., VENRICK, E. L. and HAYWARD, T. L. (1995) Primary production and chlorophyll relationships, derived from ten years of CalCOFI measurements. *CalCOFI Rep.*, **36**, 159-166.
- 長田 宏 (1996) 日本周辺海域におけるクロロフィル a 量と透明度との関係。日水研報告, (46), 25-43.
- 長田 宏・小川嘉彦・平井光行・平川和正 (1996) 日本周辺海域における透明度の地理的分布と季節変動。日水研報告, (46), 1-24.
- NIXON, S. W. (1988) Physical energy inputs and the comparative ecology of lake and marine ecosystems. *Limnol. Oceanogr.*, **33**, 1005-1025.
- 農林統計協会 (1994) 漁業白書, 平成5年度版. 242pp.
- 小川嘉彦・中原民男 (1971) 動物プランクトンの季節変動と旋網漁況。水産海洋研究会報, **19**, 215-222.
- SALJO, Y. and ICHIMURA, S. (1960) Primary production in the Northwestern Pacific Ocean. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **16**, 139-145.
- SHEMESHURA, V. YE., URDENKO, V. A. and FEDIRKO, V. I. (1982) Relationship between relative transparency and chlorophyll a concentration in water. *Oceanology*, **22**, 298-300.
- SMITH, P. E. and EPPLEY, R. W. (1982) Primary production and the anchovy population in the southern California Bight: Comparison of time series. *Limnol. Oceanogr.*, **27**, 1-17.
- TANIGUCHI, A. (1972) Geographical variation of primary production in the western Pacific Ocean and adjacent seas with reference to the inter-relations between various parameters of primary production. *Mem. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, **19**, 1-33.
- 谷口 旭 (1992) 浮魚餌料環境：プランクトンの生産特性を浮魚の立場から見る試み。漁業資源研究会議報, (28), 1-10.
- 多々良薫 (1981) 内海・内湾漁業生物の生産力について。南西水研報告, (13), 135-169.

Appendix Table 1. Results of the comparison of covariance of the two intercepts (lower left) , and the two slopes (upper right) of regression between the logarithm of the annual catch and the annual mean transparency as summarized in Table 1.

Year	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
1978	-	0.74	0.16	0.02	0.15	1.95	0.51	0.80	0.10	0.29	0.19	0.16	0.01	0.26	0.46
1979	0.04	-	0.47	1.72	0.35	0.26	0.05	0.01	0.17	2.07	0.10	0.11	0.94	2.35	0.01
1980	0.39	0.20	-	0.61	0.01	1.89	0.23	0.50	0.01	1.32	0.04	0.02	0.30	1.49	0.23
1981	0.20	0.07	0.03	-	0.52	4.42*	1.40	2.06	0.27	0.36	0.49	0.43	0.01	0.33	1.12
1982	0.88	0.68	0.19	0.32	-	1.46	0.16	0.37	0.01	1.11	0.03	0.01	0.26	1.22	0.17
1983	0.61	0.33	0.04	0.16	0.07	-	0.60	0.41	0.70	4.16	0.57	0.58	2.35	4.99*	0.35
1984	1.52	1.31	0.64	0.80	0.12	0.43	-	0.03	0.07	2.01	0.02	0.03	0.74	2.35	0.01
1985	0.24	0.11	0.02	0.01	0.29	0.05	0.76	-	0.16	2.42	0.09	0.10	1.06	2.84	0.01
1986	1.84	2.25	1.27	1.16	0.50	1.39	0.21	1.64	-	0.59	0.01	0.01	0.15	0.59	0.08
1987	1.21	1.14	0.66	0.77	0.21	0.38	0.04	0.80	0.01	-	0.88	0.81	0.23	0.01	1.49
1988	2.44	2.91	1.80	1.63	0.82	1.94	0.42	2.22	0.03	0.02	-	0.01	0.28	0.91	0.03
1989	0.78	0.58	0.25	0.38	0.03	0.12	0.02	0.29	0.18	0.03	0.34	-	0.24	0.85	0.04
1990	0.06	0.24	0.73	0.41	1.20	1.12	1.88	0.54	1.89	1.25	2.39	1.00	-	0.20	0.61
1991	0.06	0.01	0.13	0.02	0.35	0.39	0.82	0.06	0.63	0.42	0.92	0.39	0.13	-	1.66
1992	0.52	0.31	0.07	0.17	0.01	0.01	0.19	0.09	0.59	0.17	0.89	0.05	0.82	0.27	-

* significant at 95% level