

ニューラルネットワークを利用した 東北海域のカツオ漁獲量予測

為石日出生^{*1}・小松輝久^{*2}・青木一郎^{*3}・杉本隆成^{*2}

Prediction of Annual Catches of Skipjack (*Katsuwonus pelamis*) by Neural Network off Northeast Coast of Japan

Hideo TAMEISHI^{*1}, Teruhisa KOMATSU^{*2}, Ichiro AOKI^{*3} and Takashige SUGIMOTO^{*2}

Abstract

Annual catches of skipjack off northeast coast of Japan in the Pacific Ocean were predicted by neural network systems. The followings were used as input units on oceanographic conditions (in June in each learning year): geographic positions for the center of warm-core rings off Sanriku and Kushiro, northward expansion of warm tongues in near and offshore Kuroshio, and the first and second branches of the Oyashio. Body-length and condition factor of skipjack in June were also used as biological input units. One hidden layer and four hidden layer units were built in the network. The data from 1981 to 1995 were used for learning network, and those from 1996 to 1997 were for evaluating the prediction by the learned network.

A decrease and subsequent increase in catch of skipjack were predicted. Oceanographic and biological factors to increase its catch were pointed out based on the learned network. Possible relations of cause and effect were discussed.

1. はじめに

漁業者の効率的な操業と漁家経営の安定を目的として、長期漁海況予報会議が漁業種類別に毎年2~3回責任水産研究所を中心として実施されている。近年、予報精度を高めるために、親潮の南下位置、黒潮流路の蛇行、および暖水塊の位置などの海況指標と将来の漁況との関連付けが大きな関心を呼んでいる。一方、コンピュータ技術の発展は漁獲量の予測手法の多様化

を生み出し、エキスパートシステムやファジーシステムが利用され始めている(青木, 1991, 青木・三谷, 1991)。しかし、これらの手法は、ある知識が与えられるとIF・THENのルール型で知識ベースに蓄えられ、将来予測の推論・判断がなされるシステムであるため、長年経験した専門的な知識をルール化するなど知識ベースを構築することに多くの労力を要するという難点がある。近年、この解決法として、入力データとそれに対する出力値と正解との誤差が小さくなるまで学習させ、妥当な解を出す機能を持つニューラルネットワークの手法が青木・小松(1992)およびKOMATSU *et al.* (1994a, b)により始められている。本研究では、この手法を利用し6月の海況と魚体の生物的情報をもとに、近年努力量が安定している東北海域におけるカツオの年間漁獲量を予測した。

2. 資料と方法

ニューラルネットワーク開発の手順は、前処理段階

1997年5月8日受付, 1998年6月3日受理

*1 漁業情報サービスセンター

Japan Fisheries Information Service Center.
9-7-2 Ikenohata, Taito-ku, Tokyo 110-0008, Japan

*2 東京大学海洋研究所

Ocean Research Institute, University of Tokyo, 1-15-1
Minami-dai, Nakano-ku, Tokyo 164-8639, Japan

*3 東京大学農学部水産学科

University of Tokyo, 1-1-1, Yayoicho, Bunkyo-ku,
Tokyo 113-0032, Japan

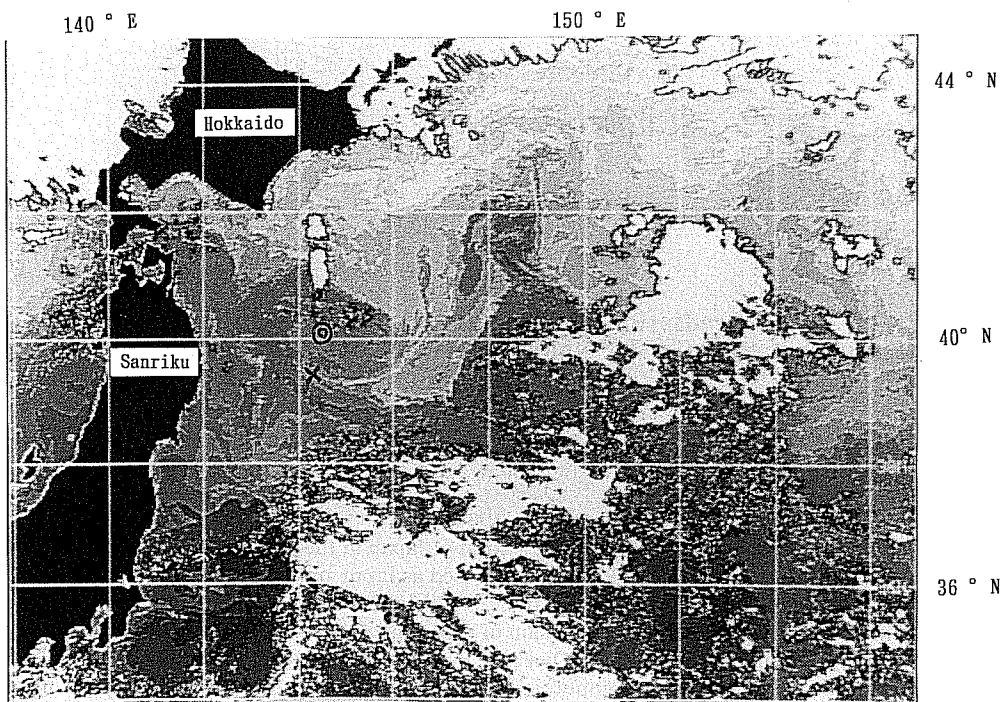


Fig. 1. NOAA infrared imagery (Nov. 7, 1995). Symbols of ⊗ and × indicate the center point of warm-core ring and the tip of the second branch of Oyashio, respectively.

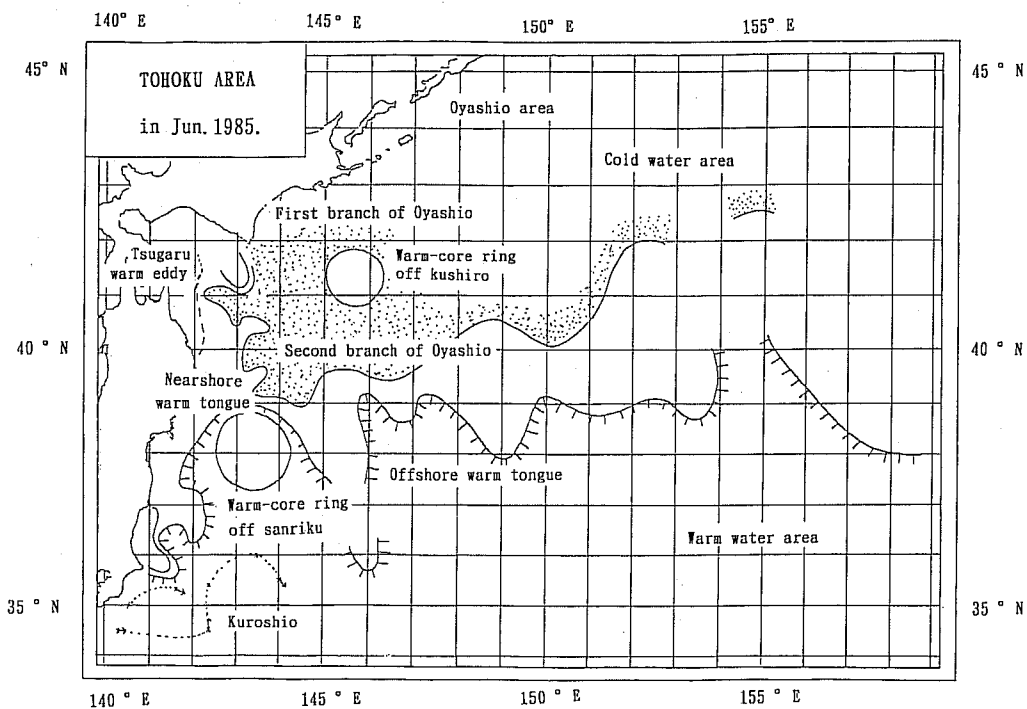


Fig. 2. Schematic figure of oceanographic characteristics in June, 1985.

Table 1. Input data in June used for neural network

Year	First branch of Oyashio* ¹	Second branch of Oyashio* ¹	Warm-core ring off Sanriku* ²	Warm-core ring off Kushiro* ²	Warm-core ring off Kushiro* ²	Nearshore warm tongue* ³	Offshore warm tongue* ³	Body length* ⁴	Condition factor* ⁵	Catch* ⁶
1981	37.7°N 142.3°E	39.3°N 147.8°E	37.7°N 145.3°E	41.8°N 144.9°E	39.2°N 144.5°E	40.5°N 149.5°E	42.85	20.93	33,218	
1982	36.5 141.5	39.2 148.5	38.5 144.5	42.0 146.5	40.7 145.0	39.0 147.0	43.27	19.86	50,982	
1983	40.5 142.7	38.7 145.5	40.7 145.0	40.7 145.0	39.0 144.3	39.5 147.0	41.41	19.46	62,672	
1984	36.5 142.5	38.5 146.0	39.5 145.0	39.5 145.0	38.0 145.5	39.0 149.0	45.00	21.20	99,228	
1985	40.5 143.0	39.0 144.5	38.2 143.2	41.3 145.7	39.0 143.0	39.0 146.0	45.52	21.74	31,324	
1986	38.7 142.5	37.7 144.5	38.0 143.5	41.5 146.0	38.7 143.0	39.7 147.0	42.97	20.21	66,346	
1987	40.8 143.8	38.3 143.7	39.5 144.2	41.5 146.6	38.0 143.5	40.0 148.7	41.94	20.44	43,855	
1988	39.0 142.5	37.7 145.7	38.7 144.3	41.7 145.7	39.7 143.5	40.5 149.0	43.84	19.71	48,795	
1989	38.0 142.5	39.7 146.5	37.3 143.8	42.3 147.2	38.5 145.0	40.0 149.5	41.74	20.46	32,492	
1990	40.5 144.0	38.3 145.5	38.0 143.5	41.5 148.0	38.8 143.5	40.0 149.0	41.08	19.42	27,320	
1991	40.2 142.2	39.5 146.1	39.6 143.8	42.4 145.8	37.6 144.4	40.3 149.2	41.32	20.23	56,949	
1992	38.9 143.5	39.8 145.7	39.2 143.1	40.9 145.5	37.8 143.2	40.0 149.2	43.15	20.88	35,614	
1993	39.8 142.2	39.6 146.1	37.6 143.2	39.6 144.3	36.2 142.4	37.6 146.3	45.43	21.02	66,649	
1994	39.7 143.8	39.5 146.3	37.3 144.6	40.9 146.2	36.2 143.9	38.6 151.3	44.15	20.79	36,717	
1995	40.0 142.8	37.9 144.9	38.9 144.1	41.8 144.6	37.2 145.0	40.5 149.9	42.72	19.84	53,079	
1996	40.8 142.5	39.8 144.5	39.5 143.2	42.2 147.0	37.7 143.8	41.2 149.7	44.26	20.59	30,361	
1997	39.9 142.5	39.0 146.3	37.8 144.5	40.8 144.5	37.2 142.5	38.2 148.3	45.70	21.30	51,417	

*¹ Tip of the branch

*² Center of the ring

*³ Tip of the warm tongue

*⁴ Body length of skipjack (cm)

*⁵ Condition factor of skipjack

*⁶ Catch volume of skipjack (t)

として①予測手法の開発に関する計画・設計を基に入力データ・出力結果の選択, ②教師データの入力, ③単位やスケールの異なるデータを0から1の範囲に加工・正規化, ④階層型ネットワークにおける中間層数の決定と入力層・中間層・出力層の各層の細胞数の決定, ⑤学習回数の決定の5段階である(中野ほか1989). 上記の③~⑤はコンピュータ上のニューラルネットワーク手法のソフトである「RHINE」(CRC社製)で処理した. 後処理としては, 結果を評価・分析し, ⑥出力された結果が良くないときにおけるネットワーク構成や学習パラメータおよび教師データの変更と再計算, ⑦結果が良好の場合, 実用プログラムの開発と運用の2段階がある. 一般的にニューラルネットワークは, 出力結果と正解(教師データ)との誤差が最小になるようにニューロンの重み(シナプス荷重)を調整する. そして, この過程を学習と呼んでいる. 今回は, この調整方法として, バックプロパゲーション(誤差逆伝播法)を使用した. また, 結果を出力し誤差評価を行い, 誤差が大きければ修正するという一連の学習の手順を今回は5,000回繰り返した. 入力ユニット数は後述のとおり14, 出力ユニット数はカツオの年間漁獲量予測値の1つを基本とした. ニューラルネットワークでは, 入力ユニットと出力ユニットとの間に中間ユニットも設置し, 学習機能を正確に行えるように設定されている. 中間ユニットの細胞数は, 入力ユニット数との比が1対4の割合で構成されており, 本研究では入力ユニット数が14個であるので4個とした.

資料としては, ①人工衛星NOAA画像(Fig. 1), ②1991年と93年における親潮先端部・暖水塊中心部の緯度・経度などの数値表(漁業情報サービスセンター1991, 1993), ③漁業情報サービスセンターが作成した100m深水温分布図, ④東北主要港における近海カツオ竿釣水揚量(東北区水産研究所1997)を用いた.

東北海域の海況の数量化を次のようにして行った. NOAA衛星画像と100m深水温分布図から月別の海況模式図(Fig. 2)を作成し, ①親潮第1分枝の南限位置, ②親潮第2分枝の南限位置, ③三陸沖暖水塊の中心位置, ④釧路沖暖水塊の中心位置, ⑤近海北上暖水先端部の位置, および⑥沖合北上暖水先端部の位置を入力した. 入力ユニット数は, 海況要因としてこれらの位置が緯度・経度を表す2つの実数値(分単位を10進法に換算)なので, 12ユニット, さらに, 生物要因としてカツオの体長および肥満度($B/L^3 \times 10^3$ B :

体重(g), L:体長(cm))の2ユニットを用い, 合計14ユニットとした. 出力ユニットについては, 東北主要港における1981~1997年のカツオ竿釣漁獲量の17年間のデータを用いた(Table 1).

以上の項目について, ケース1として1981-1995年までの15年間のデータを学習用とし, 1996-1997年間の2年間のデータを予測期間とした. また, ケース2として1992-1993年, ケース3として1994-1995年を予測期間とし, それ以外の期間を学習期間として再現性の検討を試みた.

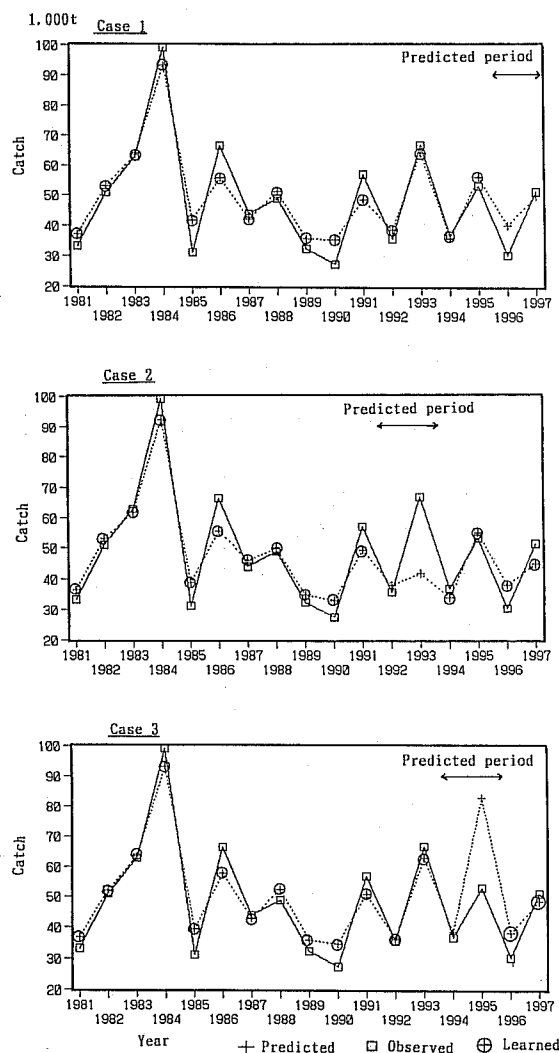


Fig. 3. Prediction of catch of skipjack by neural network using oceanographic conditions of Tohoku area and biological factors of skipjack in June.

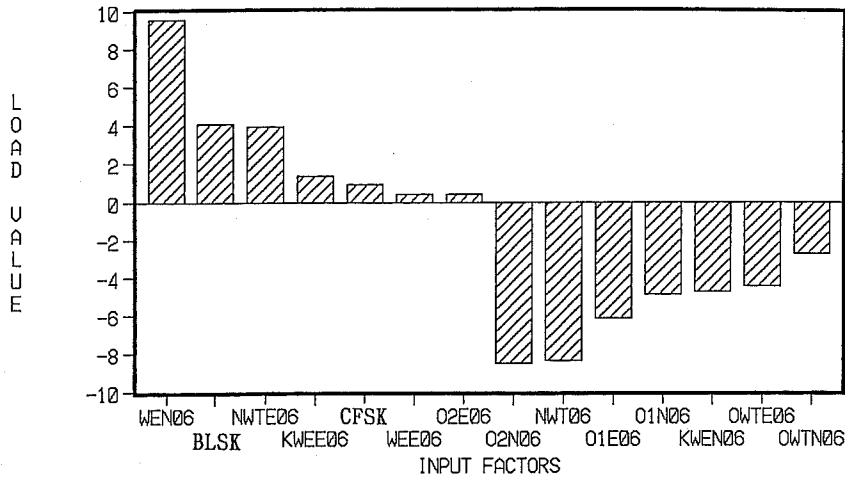


Fig. 4. Load values in June of input factors for skipjack.
 O1N06/O1E06=Tip (Lat./Long.) of first branch of Oyashio.
 O2N06/O2E06=Tip (Lat./Long.) of second branch of Oyashio.
 WEN06/WEE06=Center (Lat./Long.) of warm-core ring off Sanriku.
 KWEN06/KWEE06=Center (Lat./Long.) of warm-core ring off Kushiro.
 NWTN06/NWTE06=Tip (Lat./Long.) of nearshore warm tongue.
 OWTN06/OWTE06=Tip (Lat./Long.) of offshore warm tongue.
 BLSK=Body length of skipjack.
 CFSK=Condition factor of skipjack.

3. 結果

東北海域におけるカツオ漁獲量の経年変動とそれに対する学習と予測の結果を Fig. 3 に示す。ケース 1 では、東北海域の 6 月の時点の海況とカツオ自体の生物要因（体長・肥満度）から、1981-95 年の変動をおおむね再現するように学習され、かつ 95 年から 96 年にかけての漁獲量の減少、97 年のその増大を予測した。また、ケース 2 の 1992-1993 年を予測期間とした結果は、91 年から 92 年の減少、92 年から 93 年の増加傾向の一致を示した。また、ケース 3 の 1994-1995 年を予測期間とした結果も、93 年から 94 年は減少、94 年から 95 年は増加傾向とほぼ一致を示した。

カツオの漁場加入や漁場形成にどのような海況要因や生物要因が影響しているかは、入力ユニットと中間ユニットとの結合の重み（シナプス荷重）によって定量化されている (Fig. 4)。従って結合の重みを調べることによって、カツオの漁獲量にどのような環境要因が強く影響しているかを知ることができる。これによると、東北海域のカツオ漁獲量が多くなるための海況条件は、①三陸沖暖水塊がやや沖合（荷重値：0.379）を北偏（9.530）している、②釧路沖暖水塊はやや沖側（1.335）に分布し、南偏（-4.795）している、③近海

北上暖水がやや沖合寄り（3.949）を北上し、南偏傾向（-8.384）を示す。④沖合北上暖水は近海寄り（-4.482）に北上し、南偏（-2.794）している。⑤親潮第 1 分枝はごく沿岸部（-6.175）を南下し、南下が強い（-4.902）。⑥親潮第 2 分枝やや沖合（0.373）を南下し、南下が強い（-8.508）。

一方、生物要因としてはカツオ魚の体長が大きい（4.115）ほど、また肥満度も高い（0.928）ほど漁獲が多くなることが分かった。

4. 考察

東北海域へ来遊するカツオは、主産卵場を熱帯～亜熱帯水域に持ち、その寿命は平均的に 7 年と言われている（松原・落合, 1977）。東北海域には主に産卵前の 2 歳魚が来遊し、竿釣の漁獲対象となる（笠原, 1977, 二平, 1996）。したがって、この海域の漁獲量は、ほとんどが 2 歳魚であるため 1 魚体の体長、体重には極端な変化はなく、来遊量（来遊個体数ならびに来遊重量）の大きさを反映している。東北海域に至る主な来遊経路は、小笠原列島づたい、あるいはそれより東側の沖合からであり、その時期は 5～7 月頃である（浅野, 1984）。一方、熱帯水域全体での竿釣およびまき網の

CPUE (単位努力量当たりの漁獲量) は、1972年以降1996年まで微増しながら安定している (小倉, 1997)。しかし、東北海域での CPUE は、熱帯水域での CPUE が安定しているにもかかわらず変動が大きく、その漁獲量も年による変動が大きい (二平・永沼, 1994, SAKURAMOTO, NIHIRA and OHNISHI, 1995)。この変動の主な原因は、東北海域へ来遊しやすく漁獲されやすい海況条件と南方からの来遊過程で餌条件によって決まってくるといえる。

ニューラルネットワークのシナプス荷重値をもとに推測したカツオ漁獲量の増大条件について考察する。東北海域の海況条件として、①まず釧路沖暖水塊のやや沖合南側の分布と、三陸沖暖水塊のやや沖合での北偏を指摘した。これは、両暖水塊がやや沖合で接近している状態を表している。暖水塊自体の存在がカツオ漁場形成に好条件であること (川崎・永沼, 1959, 為石, 1991), また暖水塊同志の接近のため、広い範囲で高水温域が形成され、カツオ群が近海へ来遊しやすくなっている (笠原, 1977) と考えられる。さらに、三陸沖暖水塊や釧路沖暖水塊は南の黒潮統流域から暖水ストリーマを引き込む役割を果たし (川合・斎藤, 1987, 為石・岡田, 1987), この暖水ストリーマがカツオ群の三陸沖への来遊に利用されている (川合・佐々木, 1962, SUGIMOTO and TAMEISHI, 1992) と考えられる。これらの三陸沖暖水塊は、沖合の北上暖水からも沿岸へ暖水ストリーマを引き込み (SUSANA and SUGIMOTO 1998), カツオ群を沖合から沿岸域へ接近させる傾向がみられている (為石, 1994)。つぎに、②黒潮統流から派生する近海北上暖水の常磐沖での沖合寄りの分布、沖合北上暖水の近海寄りの北上、両方の接近、その先端部の位置の南偏を指摘した。この南偏は、親潮第1・第2分枝の南下が強い方が好条件であるとの指摘と一致し、常磐沖の黒潮前線が発達し、この前線域でカツオ群が集群・滞留することにより豊漁となる (二平, 1992) と判断される。

一方、生物的な要因として③カツオの魚体長や肥満度が大きいほど漁獲量が良くなる結果が得られているのは、北上する過程で餌条件の良さのため、魚群が他の海域へ逸散することもなく、東北海域へ多くの魚群が来遊したものと推定される。さらに、④親潮第1分枝や第2分枝が強く南下していることが好条件と示されているが、これは黒潮前線から派生する暖水ストリーマに乗って北上するカツオ群がこのストリーマの暖水側に分布しているが、親潮系水と接していることが餌

条件として重要であり (二平, 1996), この結果同じ2歳魚の中でも魚体や肥満度が大きくなったものと考察される。

謝 辞

本論文を稿するにあたって、カツオの生態および資源変動に関して、御指導頂いた元東北区水産研究所資源第2研究室主任研究官浅野政宏氏、またデータ入力にあたって御協力頂いた漁業情報サービスセンター主査高橋浩二氏に深甚の謝意を表する。

引用文献

- 青木一郎 (1991) 水産資源とエキスパートシステム. 水産資源管理談話会報, 4, 18-26.
- 青木一郎・三谷 勇 (1991) カタクチイワシ漁況予測のための知識工学的モデリング. 水産海洋研究会会報, 55, 1-8.
- 青木一郎・小松輝久 (1992) ニューラルネットによるマイワシ未成魚漁獲量の予測. 水産海洋研究, 56, 113-120.
- 浅野政宏 (1984) 標識放流からみた東北海域のカツオの移動. 昭和59年度カツオ研究協議会会議報告, 15-20.
- 漁業情報サービスセンター (1990) 平成元年度長期予測高度化技術開発試験報告書, 355pp.
- 漁業情報サービスセンター (1992) 平成3年度長期予測高度化技術開発試験報告書, 168pp.
- 笠原康平 (1977) 北太平洋におけるカツオの分布・回遊. 北大水産学部北洋水産研究施設業績集, 特別号, 383-396.
- 川合英夫・斎藤誠一 (1987) ウォームストリーマについて. 月刊海洋科学, 19, 285-290.
- 川合英夫・佐々木実 (1962) カツオが黒潮前線を越えて北上回遊をする際の促進的な水理条件について. 東北水研研報, 20, 1-27.
- 川崎 健・永沼 璋 (1959) 日本近海のカツオ竿釣漁業における漁況の変動について第3報. 東北水研研報, 13, 79-94.
- KOMATSU, T., I. AOKI, I. MITANI and T. ISHII (1994a) Prediction of the path type and offshore distance of the Kuroshio current using a neural network. Fish. Sci., 60, 253-260.
- KOMATSU, T., I. AOKI, I. MITANI and T. ISHII (1994b) Prediction of the catch of Japanese sardine larvae in Sagami Bay using a neural network. Fish. Sci., 60, 385-391.
- 松原喜代松・落合 明 (1977) 魚類学 (下). 恒星社厚生閣, 水産学全集, 19, 781-827.
- 中野 馨・飯沼一元・ニューロンネットグループ・桐谷 滋 (1989) 入門と学習ニューロコンピュータ. 技術評論社, 東京, 318pp.
- 二平 章 (1992) 黒潮前線におけるカツオ漁場の形成機構に

- 関する考察. 茨城県研究報告, 30, 1-10.
- 二平 章・永沼 璋 (1994) 重回帰モデルによる東北海域におけるカツオ漁獲量の予測手法の検討. 茨城水試研報, 32, 81-87.
- 二平 章 (1996) 潮境域におけるカツオ回遊魚群の行動生態および整理に関する研究. 東北水研研報, 58, 137-233.
- 小倉未基 (1997) 熱帯水域におけるカツオの漁獲状況. 平成9年カツオ資源報告, 東北区水産研究所, 208-211.
- SAKURAMOTO, K., A. NIHIRA and S. OHNISHI (1995) Factors of catch fluctuations of skipjack tuna in the north eastern waters of Japan and its forecasting. Fish. Sci. 61, 921-925.
- SUGIMOTO, T. and H. TAMEISHI (1992) Warm-core ring, streamers, and their role on the fishing ground around Japan. Deep-sea Res., 39, 77-96.
- SUSANA, S. T. and T. SUGIMOTO (1998) Warm water intrusions from the northern boundary of Kuroshio Extension. J. Oceanogr, 54, 257-271.
- 為石日出生 (1991) 衛星の登場と新しい漁場形成. 日本リモートセンシング学会誌, 11, 126-136.
- 為石日出生・岡田喜裕 (1987) 衛星画像による釧路沖暖水塊について. 航水研ノート・空と海, 9, 47-64.
- 為石日出生 (1994) 暖水渦・暖水ストリーマとカツオ漁場形成. 平成6年カツオ資源会議報告, 東北区水産研究所, 135-137.