

最近の放射性セシウムの濃度変化から示唆された 新潟沖ホッケの摂餌生物変化の可能性について

笠松 不二男*

Notes on Possible Change in the Food of Atka Mackerel, *Pleurogrammus azonus*, Taken off Niigata, as Suggested by Recent Change of Radiocesium Concentrations

Fujio KASAMATU*

Abstract

Concentrations of radiocesium (^{137}Cs) in the muscles of Atka mackerel, *Pleurogrammus azonus*, taken off Niigata, decreased in 1990 and subsequent years, with the resulting levels substantially lower than those found in the muscles of Atka Mackerel taken off West-Hokkaido. Uptake of ^{137}Cs occurs through two pathways: (1) directly from the sea water via epithelial tissues such as the gills or skin, and (2) from food through the digestive organs. No change in sea water ^{137}Cs concentrations off Niigata was observed in 1991, and there was little difference between the concentrations in sea water off Niigata and that off West-Hokkaido. Examination in 1994 of the stomach contents of Atka Mackerel reveal substantial differences in the food items between the two areas, with zooplankton being the predominant food species identified in the samples taken off Niigata, and small fish, which a higher concentration of ^{137}Cs than zooplankton, being predominant in the samples taken off West-Hokkaido. Simulations using a radioisotope retention model demonstrate that a decrease of ^{137}Cs concentration in the muscles occurs within six months. The possible change in the food of the Atka Mackerel taken off Niigata and the difference in the food in the two areas are discussed.

1. 緒言

核分裂生成物 ^{137}Cs は、核分裂収率が高いこと、また物理的半減期も長く (30年)、生物に取り込まれやすいために、環境中における放射能汚染の重要な鍵核種とされている。そのために本核種の高濃度の海産生物中の濃度とその挙動は、これまで多くの研究者によって追究されてきた (IAEA, 1969, 1973, 1982; KING 1964; PRESTON and JEFFERIES 1969; SUZUKI *et al.*, 1973, 1979; PENTREATH and JEFFERIES 1971; PENTREATH *et al.*, 1971; KIMURA 1984; TATEDA and MISONOU 1991)。海水中に放出された放射性物質は一旦希釈されるが、その後海産生物によって再度濃縮される。さらに、人工放射性核種 ^{137}Cs は栄養段階が上がるにしたがってさらに濃縮されることが示唆されている (WILLIAMS

and PICKERING 1961; PENDLETON *et al.*, 1965; WHICHER *et al.*, 1972)。従来の研究の主体はこの濃縮 (濃縮係数) に関するものがほとんどで (IAEA 1969, 1973, 1982; EISENDUD 1973; 佐伯 1984; HIYAMA and SHIMIZU 1964; 市川 1986)、本核種を指標として生物の生態を追究した例は少ない。

海洋生物環境研究所は、科学技術庁の委託により原子力発電所沖合漁場における放射能調査を実施している。この調査では、原子力発電所沖合の海水及び海底土中の放射性核種濃度を調べるとともに、発電所近くで漁獲された海産生物中の濃度を分析している。この長期的かつ組織的な調査から得られた資料は、沿岸漁獲対象種中の ^{137}Cs の濃度とその挙動に関する情報を提供する一方、放射性核種 ^{137}Cs の濃度の挙動を通して対象種の生態的特性に関する情報をも含んでいる。本報では、この調査資料を解析し、北海道岩内沖と新潟県出雲崎沖のホッケ *Pleurogrammus azonus* 中の ^{137}Cs

1995年5月21日受理

* 海洋生物環境研究所 Marine Ecology Research Institute, 3-29 Jinbo-cho, Kanda, Chiyoda, Tokyo, 101, Japan

濃度に近年大きな差が生じていることを示すとともに、その原因が新潟県出雲崎沖のホッケの主摂餌生物の変化にある可能性を検討した。

2. 試料と分析方法

北海道岩内沖と新潟県出雲崎ホッケ試料は新潟県出雲崎漁協と北海道岩内郡漁協を通して年2回、それぞれ20kg程度入手した。試料を冷凍した後、日本分析センター(千葉市)に送付し、各個体の全長と体重を計測した。各個体から分取した筋肉を合体し(個体別では筋肉試料の量が少なく放射能測定が難しいため36~81個体の筋肉を合体した試料を分析した)、105℃で乾燥、450℃で灰化後γ線スペクトロメトリーで放射能計測を行った。放射線計測時間は1200分とした。計測誤差は計測値の4~6%であった。海水中の¹³⁷Cs分析は、海水試料50lからリンモリブデン酸アンモニ

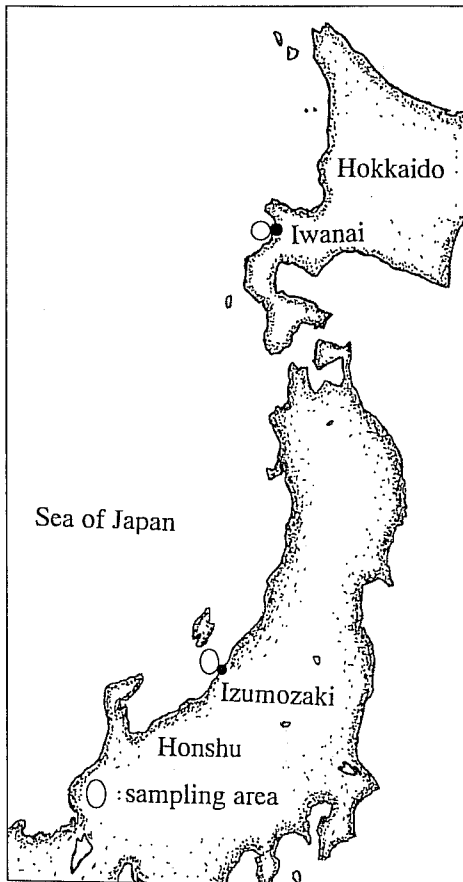


Fig. 1. Sampling areas.

ウム水酸化物-硫化物法によって対象核種群を分離し、γ線スペクトロメトリーにより計測した。海水中濃度の計測誤差は計測値の3~10%であった。

1994年秋試料の胃内出現種組成を調べ、胃内容物を餌毎の重量組成で記述するとともに、胃内出現率(ある餌の出現頻度を検査尾数の百分率に直したもの)としてあらわした。海水試料の塩分は、サリノメーターにより測定した。

3. 結果

(1) 出雲崎沖と岩内沖ホッケ筋肉中の¹³⁷Cs濃度

Table. 1に1989年から1994年までの出雲崎沖と岩内沖ホッケ試料の採取月日、平均全長と平均体重を示し、Fig. 2には筋肉中の¹³⁷Cs濃度とその経年変化を示した。1988年以前の試料は、旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所事故(1986年)の影響が見られる(チェルノブイリ事故起源の¹³⁴Csが検出されている、科学技術庁1987, 1988, 1989)ので除外した。1989年では、両海域でのホッケ試料中の¹³⁷Cs濃度は、ほぼ同じレベルにあったが、1990年に伊勢湾沖ホッケ試料中の¹³⁷Cs濃度が急減した。一方、岩内沖ホッケ試料では、1990年前後にその様な急減傾向は見られなかった。出雲崎沖ホッケ試料中の濃度は、その後岩内沖ホッケ試料中

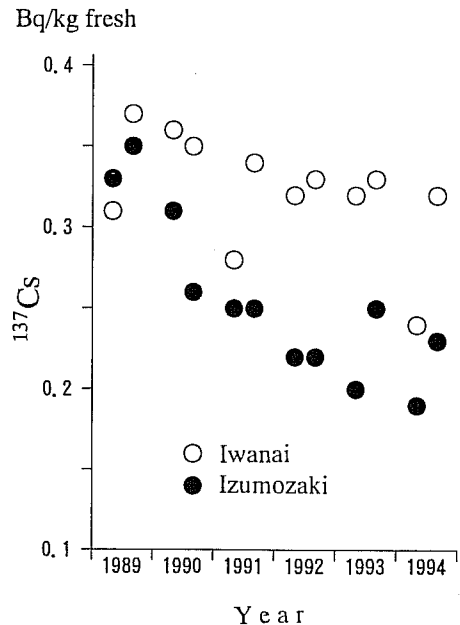


Fig. 2. Yearly change of ¹³⁷Cs concentration in muscle of Atka mackerel.

Table 1. Samples of Atka mackerel

Area sampled	Date sampled	No. of individuals	Mean length with (s.d.) (cm)	Mean weight with (s. d.) (g)
Niigata	1989. 6. 23	55	32.9(1.3)	367(41)
Izumozaki	1989. 9. 24	63	32.3(1.1)	316(30)
	1990. 5. 11	81	32.1(1.3)	309(27)
	1990. 12. 11	50	35.2(1.4)	403(48)
	1991. 7. 14	51	33.8(1.5)	398(43)
	1991. 12. 17	66	32.3(1.1)	301(33)
	1992. 6. 26	36	36.2(1.5)	588(74)
	1992. 12. 21	43	35.5(1.4)	457(54)
	1993. 5. 16	60	33.9(1.2)	345(32)
	1993. 12. 19	45	37.0(1.1)	449(37)
	1994. 6. 6	48	36.3(1.2)	436(57)
	1994. 12. 11	51	34.9(2.6)	388(75)
	Hokkaido	1989. 5. 12	53	33.5(1.5)
Iwanai	1989. 12. 7	34	31.6(1.8)	284(31)
	1990. 5. 9	48	34.3(2.5)	404(46)
	1990. 11. 16	52	33.3(1.9)	372(40)
	1991. 5. 11	54	34.1(1.2)	367(39)
	1991. 10. 2	42	34.8(1.3)	459(48)
	1992. 5. 15	61	33.1(1.6)	353(51)
	1992. 9. 10	45	34.8(1.3)	451(50)
	1993. 5. 15	38	36.1(1.5)	537(69)
	1993. 11. 8	46	35.3(1.6)	424(75)
	1994. 5. 9	55	35.2(1.3)	435(60)
1994. 10. 27	45	37.1(1.4)	523(52)	

濃度と比べて低い水準で推移した。

(2) 供試魚の平均全長と濃度

魚類の中には、 ^{137}Cs 濃度が体長や体重の増加とともに変化する種や個体群があることが知られている(森田 1980; ISHIKAWA *et al.*, 1995; 笠松 1995)。 ^{137}Cs 濃度の経年変化を見る場合、供試個体の大きさと ^{137}Cs 濃度との間に相関がある場合には、供試個体の大きさの変化も調べる必要がある。Fig. 3 にホッケ試料中の ^{137}Cs 濃度と供試個体の平均全長との関係を示した(なお、出雲崎沖試料では、後述するように大きさと濃度との関係に摂餌生物の変化が含まれてしまう可能性があるため、ここでは岩内沖試料のみを用いた)。供試個体の平均全長の範囲内では、平均全長と ^{137}Cs 濃度との間に特定の傾向は見られなかった(回帰直線の傾きは有意水準 5% でゼロと異なる)。また、出雲崎沖試料では 1992 年の供試個体が他の年に比べて大型であることをのぞき、1990 年以後、特に 1990-1991

年において平均全長に大きな変化は見られなかった。さらに、出雲崎沖ホッケの全長は岩内沖に比べて大小の差はあるものの特に偏りはないことから、観察された出雲崎沖ホッケ試料中の ^{137}Cs 濃度の変化は、供試個体の大きさの変化が原因である可能性は少ないと考えた。

(3) 海水中の ^{137}Cs 濃度と塩分濃度

魚類中の ^{137}Cs は、環境水から鰓や皮膚などの上皮組織を通して取り込まれる経路と、餌を介して消化管から取り込まれる二つの経路がある(WILLIAM and PICKERING 1961; KING 1964; PENTREATH *et al.*, 1971; SUZUKI *et al.*, 1979)。聞き取り調査の結果から両海域におけるホッケの通常の漁獲深度は、およそ 150m 前後と同じで海域差は見られなかった。原子力発電所沖合漁場の海水中の放射能調査では、海表面から深度約 200m 前後までの表層水中の ^{137}Cs 濃度は、ほぼ同じであることが示されており(KASAMATSU *et al.*, 1994)、

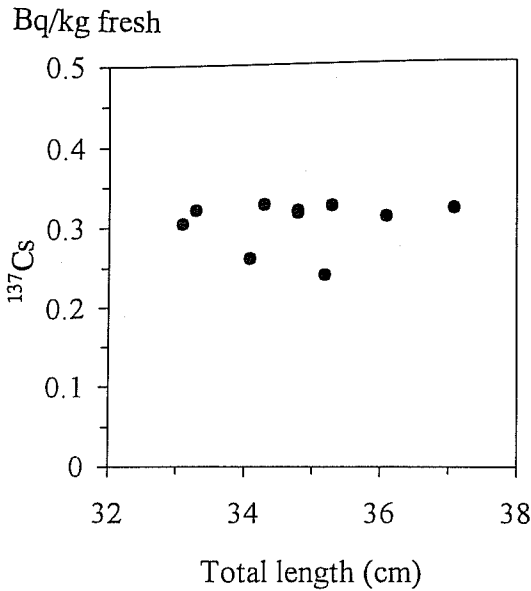


Fig. 3. Relationship between total length and ^{137}Cs concentration in Atka mackerels (West Hokkaido samples only).

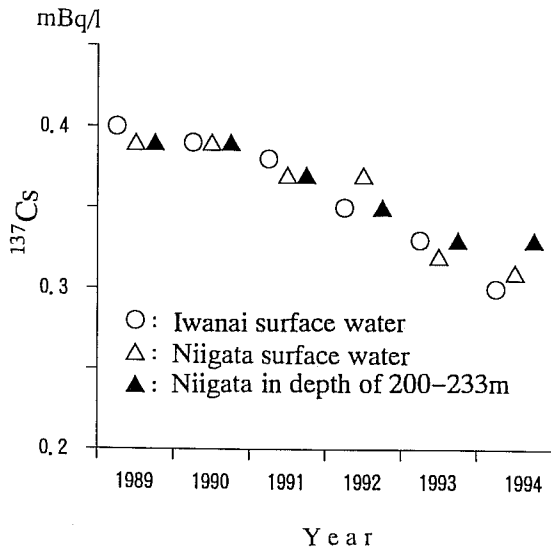


Fig. 4. Yearly change of ^{137}Cs concentration in sea waters.

また新潟県沖の表面海水中の ^{137}Cs 濃度は北海道岩内沖の濃度と同じであった。海水中の ^{137}Cs 濃度は、物理的崩壊と拡散・沈降などにより年々減少するが、新潟沖海水中の濃度のみが1990年前後から特に急激に減少した傾向も見られなかった (Fig. 4)。

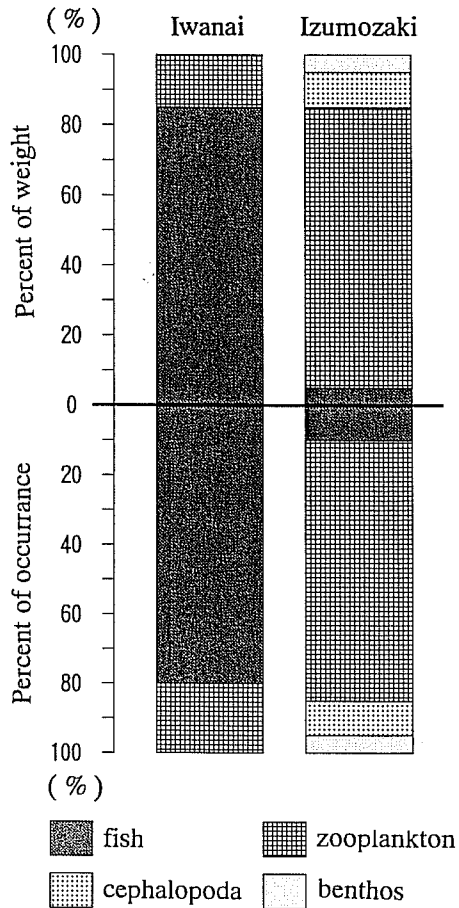


Fig. 5. Comparison of stomach contents of Atka mackerel samples between Iwanai and Izumozaki.

海産生物中の ^{137}Cs は、海水中的カリウム (K) 濃度によりその吸収度が抑制されることが示唆されている (例えば BRYAN 1963, 1965; BENINSON *et al.*, 1966)。海水中的 K 濃度は、海水中的塩分と高い相関が認められていることから、海水中的 (K 濃度の指標として) 塩分を調べることにより K の濃度が推定できる (KOLEHMAINEN *et al.*, 1968) が、両海域のホッケの棲息深度の塩分に差は見られなかった。これらのことから、両海域のホッケ試料中の ^{137}Cs 濃度差が、海水中的 ^{137}Cs 濃度や塩分の差に起因したものではないと考えられた。

(4) 胃内出現種組成

二つの海域におけるホッケ試料中の ^{137}Cs 濃度差があきらかとなったことに関連して、両海域の1994年秋

の供試個体中の胃内出現種組成を調べた。Fig. 5 に両海域のホッケの胃内出現種重量組成及び胃内出現率を示した。

胃内容物調査からは、出雲崎沖ホッケの70%余りの個体（胃内容重量の84%）から動物プランクトン（端脚類とオキアミ類）が見られた。一方、岩内沖では、胃内容物が検出された個体が48試料のうち5個体しかなく、主な摂餌生物に関して確証的なことを言うことは出来なかったが、5個体内の4個体（胃内重量の86%）でイカナゴ（メロード）が観察された。

4. 考 察

本研究では、最近の岩内沖と出雲崎沖ホッケ中の¹³⁷Cs濃度に差が生じていることを明らかにするとともに、ホッケ中の¹³⁷Cs濃度に影響を与えるいくつかの事象を検討したところ、両海域のホッケの摂餌生物が異なっている可能性が示唆された。

ここでは、二つの海域におけるホッケの主な摂餌生物とその変化及びそれらの¹³⁷Cs濃度蓄積に与える影響を考察した。

最初に、摂餌生物の違いとその変化が¹³⁷Cs蓄積に与える影響を検討した。岩内沖と出雲崎沖の二つの海域におけるホッケの摂餌生物の違いが、魚体中の¹³⁷Cs濃度変動に影響を与えるうえでの重要な要素は、動物プランクトンや小型魚という餌の種類によって¹³⁷Cs濃度が異なることと、摂餌による消化管からの吸収と筋肉への移行と濃度の変化が比較的短期間（数ヵ月か半年程度）に行われなければならないことである。ホッケの主要な餌であるイカナゴ（メロード）・カタクチイワシ等の小型魚と端脚類やオキアミ類といった動物プランクトン中の¹³⁷Cs濃度あるいは濃縮係数

(Concentration Factor, CF)は、それぞれ約0.10 Bq/kg湿重量（あるいはCF 30）と0.05 Bq/kg湿重量（CF 15）であり（農林水産省農林水産技術会議事務局連絡調整課1993, 1994; 茨城県公害技術センター1994, 1995; 北海道1993, 1994; PENTREATH and JEFFERIES 1971; NAGAYA and NAKAMURA 1987; GOMEZ *et al.*, 1991), 約2倍程度の差がある。魚類筋肉中での¹³⁷Csの生物学的半減期は、短期間に減少する第1成分と長期間にわたって減少する第2成分があると示唆されている（BAPTIST and PRICE 1962; JEFERUES and HEWETT 1971; KIMURA 1984）。これら既知の情報をもとに、放射能代謝モデル（KOLEHMAINEN 1974; FORSETH *et al.*, 1992; MORGAN *et al.*, 1993）を用いて、魚類中の濃度が摂餌生物の変化に伴ってどのように変動するか検討した。ホッケに関するパラメーターはないので、ここではホッケと同じカサゴ目のクロソイの値（青森県1988）を用いた。なお、ホッケ成魚の主な棲息域の水温は5℃以下と考えられ（苫米地ら, 1952）、クロソイ（水温8-15℃: 落合・田中1986）と比べ低い。棲息域の水温が低い場合には生物学的半減期が長く、水温が10℃異なると生物学的半減期が2倍近くになるとの報告がある（HASANEN *et al.*, 1968; Kolehmainen *et al.*, 1968; COCCHIO *et al.*, 1995）。この点を考慮し、放射能代謝モデルに使用する生物学的半減期には、クロソイで観察された生物学的半減期とその2倍の値を用いた。代謝モデルのパラメーターをTable. 2に、結果をFig. 6に示した。

$$R_t = a_1 R_{t-1} e^{-k_1 t} + a_2 R_{t-1} e^{-k_2 t} + a_1 I (1 - e^{-k_1 t}) / k_1 + a_2 I (1 - e^{-k_2 t}) / k_2$$

Table. 2. Parameters used in radiocesium retention model simulations.

The fast rate of elimination k_1 : 0.06 and 0.03

The slow rate of elimination k_2 : 0.006 and 0.003

The component eliminated at k_1 , a_1 : 5%

The component eliminated at k_2 , a_2 : 95%

The feeding rate per day per weight, r : 0.03

The absorption rate, b : 0.85

The concentration of ¹³⁷Cs in prey of fish, c_1 : 0.10 Bq/kg fresh

The concentration of ¹³⁷Cs in prey of zooplankton, c_2 : 0.05 Bq/kg fresh

The percentage of fish in the stomach, f_1 : 40% to 10%

The percentage of zooplankton in the stomach, f_2 : 60% to 90%

(Baptist and Price 1962; Kolehmainen 1974; Doi *et al.*, 1979; Kimura 1984; Aomori Prefecture 1988).

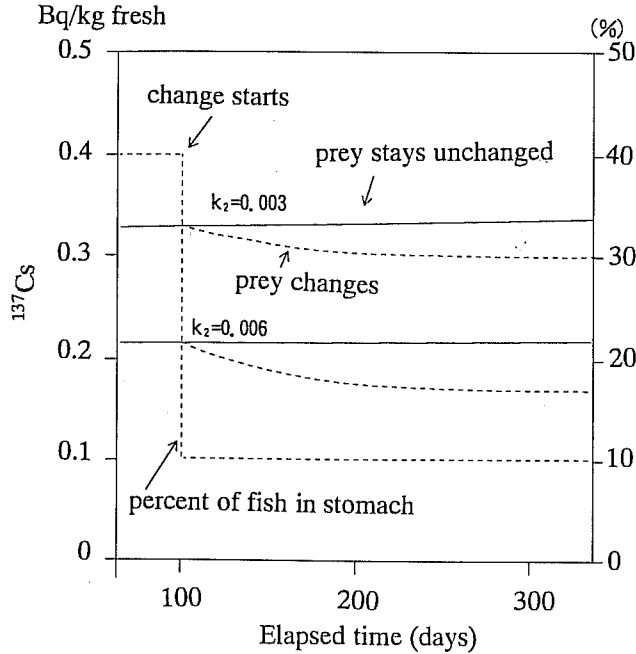


Fig. 6. Results of simulations on retention of ¹³⁷Cs.

ここで、 R_t =時間 t における魚体中の ¹³⁷Cs の存在量；
濃度は R_t/W

a_1 =短期間に減少する成分の比 (k_1 で減少する部分の割合)

a_2 =長期間に減少する成分の比 (k_2 で減少する部分の割合)

k_1 =短期間で減少する排出率 (0.693/生物学的半減期 (日))

k_2 =長期間で減少する排出率 (0.693/生物学的半減期 (日))

I =取り込み量

$$I = Wr(b(c_1f_1 + c_2f_2 + \dots + c_n f_n))$$

W : 体重 (kg) = $p(1 - e^{-(1/365+u)})$, p, q, u は係数

r : 摂餌量 (体重に対する割合)

b : 吸収率

c : i 餌種の ¹³⁷Cs 濃度 (Bq/kg 湿重量)

f : i 餌種の胃内重量に占める割合

放射能代謝モデルによるシミュレーション結果から、仮に摂餌生物が動物プランクトンと魚 (新潟沖での1989年以前の胃内出現種組成に関する情報はないので、ここでは島根沖で観察された胃内容種組成 (小川ら、

1963) を参考に動物プランクトンと魚の比を 6:4 あるいは 7:3 と仮定した) の混食からほとんど動物プランクトン (9:1) に変わった場合、魚体中の ¹³⁷Cs 存在量は徐々に減少し、魚体中の濃度は餌が変化しなかった場合に比べて、60日後に 4-9%、そして180日後には10-18%低い濃度となった。排出率や吸収率といった主要パラメーターの不確かさを考慮すると、濃縮係数あるいは濃度の水準自体は大きく変動するが、摂餌生物変化に伴う濃度の変化が比較的早く生じることに変わりはない。食性が魚を含む混食から ¹³⁷Cs 濃度の低い動物プランクトン食に変わった場合、ここで考慮したパラメーター値の下では、少なくとも半年以内には筋肉中における ¹³⁷Cs 濃度が10-20%程度変化する。これらのことは、出雲崎沖のホッケ試料中の ¹³⁷Cs 濃度が1990年に急減し、以後岩内沖試料と比べて低い濃度水準で推移している原因が、出雲崎沖ホッケが何らかの理由により1990年以後魚類を含む混食から動物プランクトン食を強めたことによる可能性を支持している。このような摂餌生物の変化と ¹³⁷Cs 濃度変化に関する過去の知見は少ないが、PENTREATH and JEFFERIES (1971) はツノガレイ (*Pleuronectes platessa*) 中の ¹³⁷Cs 濃度が餌生物の季節的な変化によ

て変化することを示している。

次に、ホッケの食性を検討した。最初に、1980年代後半と1990年代前半で出雲崎周辺のホッケの胃内容物組成に変化が見られたかどうかに関して過去の知見を調べたが、北海道以外の海域で漁獲されたホッケの胃内容物に関する過去の情報は極めて少なく、新潟県周辺で漁獲されたホッケの胃内容物に関する知見は見いだせなかった。ただ、日本海南部（島根沖）で漁獲されたホッケについてのみ報告があり、検査個体の28-34%の個体から魚類が、49-95%から動物プランクトンが、18-55%から頭足類が、そして4-20%からエビ・カニ類がそれぞれ検出された（小川ら、1963）。

ホッケの食性に関しては、北海道立水産試験場の研究者が中心となっていくつかの知見が報告されている（平野1947; 元田・佐藤1949; 竹村・山根1953; 北海道立水産試験場1953; 蒲原1957a, 1957b; 石垣・中道1958; 中道1968, 1973; 北海道立水産試験場ホッケ研究グループ1983; 入江1986）。これらの知見から、ホッケは地域差があるものの、成長段階によりその主な餌を変化させることが示唆されている。すなわち、未成魚であるハルホッケ（2歳魚、体長約23-26cm）では動物プランクトンを集中して摂餌する傾向があり、成魚（3歳以上、体長26cm以上）になると底層に棲息する生態へと変化し、その摂餌生物も動物プランクトンのほかにイカナゴや魚類の稚魚、ベントス等を混食する傾向をおびるとされている。日本海南部海域においてこの様な詳細な観察は報告されていないが、仮に同じ様な生態的特性があるとすると、供試魚が成魚から未成魚に変化した場合、見かけ上供試魚の食性が雑食から動物プランクトン食に変化する。本研究で分析したホッケの平均全長は、いずれの年も32cm以上（平均34cm）であり、体長に換算すると28cm以上、平均30cmとなり、供試魚は3歳魚以上が中心である。また、供試魚の平均全長の減少も見られないことから、成長段階による食性の変化による影響の可能性はないと考えた。

岩内沖のホッケ中の¹³⁷Cs濃度が、1991年と1994年のいずれも春に減少していることが注目された。北海道におけるホッケの食性の研究から、ホッケは成長段階によって摂餌生物を変化させるだけでなく、成魚になっても沿岸域の生物群集の地域差や季節的变化によってその摂餌生物を多様に変化させていることが示唆されている（北海道立中央水産試験場ホッケ研究グループ1983）。特に、北海道西岸中部と南部域では春期に、

オキアミ類やイカナゴが多量に出現し、ホッケがこれらを主に摂餌していたことが報告されており、年によりホッケの胃内でオキアミ類が優占することも報告されている（元田・佐藤、1949; 中道、1968, 1973; 北海道立中央水産試験場ホッケ研究グループ、1983）。一方、10~12月の産卵期では岩内北方の神恵内付近では、胃内容物のほとんどがタクチイワシ、イカナゴ、スルメイカ及び魚卵で占められているとの報告がある（北片、1973）。岩内沖のホッケ中の¹³⁷Cs濃度がいずれも春に低いことは、供試魚がオキアミ類を主に摂餌していた可能性を示すとも考えられるが、確かなことは言えない。

最後に、出雲崎沖のホッケが動物プランクトン食を強めた可能性を検討した。はじめに、新潟県中越・上越海域での資源環境の変動を見るため、水温の変動を調べた。深度50mと100mの月平均値からの水温偏差をFig. 7に示した。1989年より1991年にかけての特徴は、1989年の12月より翌年の6月頃まで水温が例年に比べかなり高く推移したこと、そしてそれ以後も冬から春にかけて例年より水温が高い傾向が1993年まで継続されたことが注目されているが（新潟県水産試験場1990, 1991, 1992, 1993, 1994）、動物プランクトンの現存量自体の変動に関する情報もなく、水温変動が動物プランクトンの現存量に対する影響は現時点でははっきりしない。次に、動物プランクトンを餌資源として共通して利用しているかあるいは餌資源をめぐる競争関係にあると思われる他の種に関する情報についても検討した。新潟県中越・上越海域で動物プラン

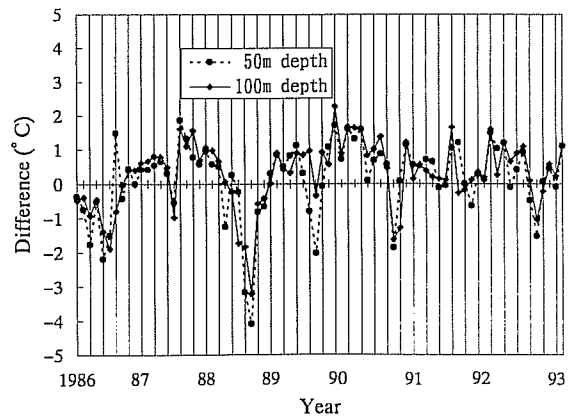


Fig. 7. Monthly deviation of sea surface temperature from monthly mean sea temperature in coastal waters off mid and south Niigata.

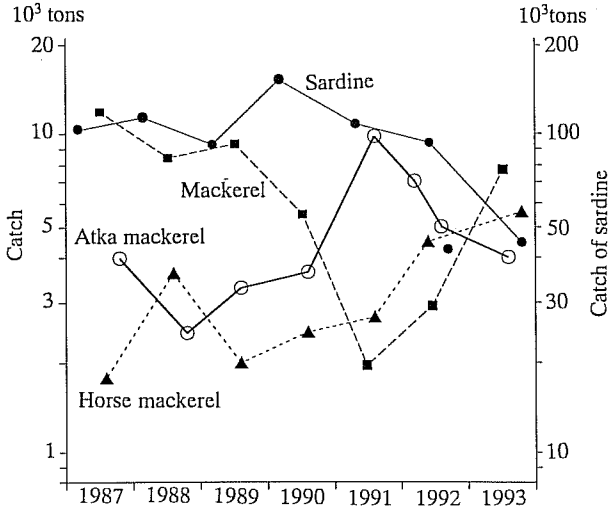


Fig. 8. Annual change in catches of major pelagic fishes at Niigata.

クトンを主な餌として漁獲量が多い魚種は、マサバ・マアジ・マイワシそしてイカ類である（新潟県水産試験場 1977）。このうち、マイワシの摂餌生物はホッケが摂食していた端脚類やオキアミ類より小型のカイアシ類が中心であり（落合・田中 1986）、ホッケとは直接競合しない可能性がある。マイワシを含む 4 種とホッケの新潟県に水揚げされた漁獲量（漁業養殖業生産統計年報 1988-1993）を Fig. 8 に示した（なお、マイワシに関しては 1990 年以後太平洋側漁獲量の減少に伴い、まき網船団が日本海側に回りまき網船数がそれ以前の 2 倍程度に増加している）。出雲崎沖ホッケの ¹³⁷Cs 濃度が変化した 1990 年前後における漁獲量の変化を見ると、特にマサバの漁獲量の変動が顕著であった。新潟県南部海域を含む対馬暖流域において、マサバは卓越種と考えられ、その豊凶は全漁獲量を左右する重要な魚種である（水産庁 1958: 新潟県水産試験場 1977）。漁獲量から判断すると、動物プランクトンを餌資源として共有するマサバ資源が 1990 年代初めに減少したことで、ホッケが動物プランクトン食を強めた可能性も考えられるが、現時点では確証的なことは言えない。今後の継続的な調査が必要である。以上、本報では出雲崎沖ホッケ中の ¹³⁷Cs 濃度の特異な変化を示すとともに、その要因が主摂餌生物の変化の可能性について検討した。¹³⁷Cs の魚体中の蓄積は餌生物種や摂餌量の変化によく反応するために、以前から魚類の摂餌量やその季節的変化の推定にも使われており

(KOLEHMAINEN 1974; FORSETH *et al.*, 1992)、本核種濃度の変動は胃内容物からの情報とは独立した摂餌生物と摂餌量に関する情報を提供するものと考えられる。今後、両海域におけるホッケの胃内容物と ¹³⁷Cs 濃度を更に追跡するとともに、出雲崎沖ホッケに関しては ¹³⁷Cs 濃度と摂餌種およびその量の季節的变化についての調査も予定している。これらの結果については別の機会に報告する。

5. 謝辞

新潟県出雲崎町漁協と北海道岩内郡漁協の皆様には試料の購入と送付にご協力頂いた。新潟県水産試験場の加藤和範海洋課長、日本海区水産研究所の梨田一也氏（現西海区水産研究所）、平川和正博士、西田宏氏からは、新潟県沖の魚類群集及び資源環境に関して情報を頂くとともに本研究結果に関してのコメントを頂いた。北海道立中央水産試験場の渡辺安廣氏と北海道原子力センター水産科佐々木正義氏（現北海道立中央水産試験場）には北海道周辺のホッケの資源とその食性に関して資料の提供を頂いたのみならず、本論文の校閲をいただいた。最後に、本論文を校閲し貴重なコメントを頂いた放射線医学研究所の中原元和氏、中村良一氏、東京大学名誉教授羽生功博士、同平野禮次郎博士及び匿名の校閲者にお礼申し上げる。本研究は、科学技術庁が実施している海洋環境放射能総合評価事業の一環として実施した。

参考文献

- 青森県 (1988) 昭和 62 年度海洋環境放射能総合評価事業成果報告書, 195pp.
- BAPTIST, J. P. and T. J. PRICE (1962) Accumulation and retention of ¹³⁷Cs by marine fishes. *Fish. Bull.*, **62**, 177-197.
- BENINSON, D., E. V. ELIST and D. CANCIO (1966) Biological aspects in the disposal of fission products in surface waters. *In*. Disposal of Radioactive wastes into Seas, Oceans and Surface Waters. IAEA, Vienna, 337-354.
- BRYAN, G. W. (1963) The accumulation of ¹³⁷Cs by brackish water invertebrates and its relation to the regulation of potassium and sodium. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, **43**, 541-565.
- BRYAN, G. W. (1965) Ionic regulation in the squat lobster *Galathea squamifera*, with special reference to the relationship between potassium metabolism and the accumulation of radioactive caesium. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, **45**, 97-113.
- COCCHIO, L. A., D. W. RODGERS and F. W. H. BEAMISH (1995)

- Effects of water chemistry and temperature on radiocesium dynamics in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **52**, 607-613.
- DOI, T., T. KIDACHI, K. HONJO, Y. MATSUSHITA, T. NEMOTO, M. SHIMIZU, H. SUDO and H. TSURUGA (1979) A preliminary assessment of biological transport of radionuclides dumped at deep sea bottom. In. Marine Radioecology, Proceedings of the third NEA Seminar, NEA/OECD, 95-110.
- EISENBUD, M. (1973) Environmental Radioactivity 2nd Edition. Academic Press, New York, 396pp.
- FORSETH, T., B. JONSSON, R. NUMANN and O. UGEDAL (1992) Radioisotope method for estimating food consumption by brown trout (*Salmo trutta*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., **49**, 1328-1335.
- GOMEZ, L. S., M. C. MARIETTA and D. W. JACSON (1991) Compilation of selected marine radioecological data for the formerly utilized sites remedial action program: summaries of available radioecological concentration factors and biological half-lives. SAND89-1585, UC-721, Sandia National Laboratories, New Mexico, USA.
- 平野義見 (1947) 北海道のホッケに就いて. 北水試月報, **4** (1), 10-21.
- HASANEN, E., S. KOLEHMAINEN and J. K. MIETINEN (1968) Biological half-times of ^{137}Cs and ^{22}Na in different fish species and their temperature dependence. In. Proc. First Intern. Congress of Radiation Protection, Pergamon Press, 401-406.
- HIYAMA, Y. and M. SHIMIZU (1964) On the concentrations factors of radioactive Cs, Sr, Cd, Zn, and Ce in marine organisms. Rec. Oceanogr. Works in Japan, **7**, 43-77.
- 北海道 (1993, 1994) 泊発電所周辺環境放射線監視結果報告書, 60pp.
- 北海道立水産試験場 (1953) ホッケとその漁業. 漁業指導資料 (2), 83pp.
- 北海道立水産試験場ホッケ研究グループ (1983) 最近のホッケの調査研究, 91pp.
- IAEA (1969) Environmental contamination by radioactive materials. IAEA, Vienna, 746pp.
- IAEA (1973) Environmental behaviour of radionuclides released in the nuclear industry. IAEA, Vienna, 749pp.
- IAEA (1982) Environmental migration of long-lived radionuclides. IAEA, Vienna, 830pp.
- 茨城県公害技術センター (1994, 1995) 茨城県における放射能調査 (第37, 38報), 145pp, 150pp.
- 市川龍資 (1986) 放射性核種の魚類への蓄積, 魚類と放射能, 江上信雄編, 恒星社厚生閣, 東京, 234-297.
- 入江隆彦 (1986) ホッケ資源とその管理. 漁業資源研究会議報, **25**, 74-91.
- 石垣富夫・中道克夫 (1958) ホッケの研究 (IV) 行動, 食性および棲息条件. 北水試月報, **14**(5), 4-13.
- ISHIKAWA, Y., K. YAMADA N. NONAKA, K. MARUMO and T. UEDA (1995) Size-dependent Concentrations of Radiocesium and Stable Elements in Muscles of Flat-head Flounder *Hippoglossoides dubius*. Fisheries Science, **61**, 981-985.
- JEFFRIES, D. F. and C. F. HEWETT (1971) The accumulation and excretion of radioactive cesium by plaice (*Pleuronectes platessa*) and the tournback ray (*Raja clavata*). J. mar. biol. Ass. U. K., **51**, 411-422.
- 科学技術庁 (1987) 昭和61年度原子力発電所等海洋放射能調査結果概要, 科学技術庁, 33pp.
- 科学技術庁 (1988) 昭和62年度原子力発電所等海洋放射能調査結果概要, 科学技術庁, 76pp.
- 科学技術庁 (1989) 昭和63年度原子力発電所等海洋放射能調査結果概要, 科学技術庁, 162pp.
- 北片正章 (1973) ホッケの集合特性 II, 神恵内産卵群の集合特性について. 北水研報, **33**, 30-39.
- 蒲原八郎 (1957a) ホッケの研究 (I), 種類と分布. 北水試月報, **14**(6), 4-14.
- 蒲原八郎 (1957b) ホッケの研究 (II), 産卵生態. 北水試月報, **14**(9), 3-23.
- KASAMATSU, F., Y. UEDA, T. TOMIZAWA, N. NONAKA and Y. NAGAYA (1994) Preliminary report on radionuclide concentrations in the bottom waters at the entrance of Wakasa Bay with special reference to the Japan Sea Proper Water. J. Oceanogr., **50**, 589-598.
- 笠松不二男 (1995) 沿岸漁獲対象魚類の ^{137}Cs 濃度と食性, 第37回環境放射能調査研究成果論文抄録集. 科学技術庁, 東京, 65-66.
- KIMURA, K. (1984) Accumulation and retention of cesium-137 by the common goby. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **50**, 481-487.
- KING, S. F. (1964) Uptake and transfer of cesium-137 by *Chlamidomonas*, *Daphnia*, and bluegill fingerlings. Ecology, **45**, 852-859.
- KOLEHMAINEN, S. E. (1974) Daily feeding rates of bluegill (*Lepomis macrochirus*) determined by a refined radioisotope method. J. Fish. Res. Bd. Can., **31**, 67-74.
- KOLEHMAINEN, S. E., E. HASANEN and J. K. MIETTINEN (1968) ^{137}Cs in the plants, plankton, and fish of Finnish lakes and factor affecting its accumulation. In. Proc. First Intern. Congress of Radiation Protection, Pergamon Press, 407-415.
- 森田茂樹 (1980) 放射性核種の蓄積と代謝-魚類. 第8回放射性医学研究所環境セミナー報文集. 科学技術庁, 東京, 139-146.
- MORGAN, I. J., P. TYTLER and M. V. BELL (1993) The accumulation of ^{137}Cs from fresh water by alevins and fry of Atlantic salmon and brown trout. J. Fish Biol., **43**, 877-888.
- 元田茂・佐藤重勝 (1949) ホッケ (*Pleurogrammus azonus*) の食餌並に漁場プランクトンの観察. 日水誌, **15**: 343-353.
- 中道克夫 (1968) 旋網ホッケの胃内容物について. 北水試月報, **25**(3), 2-7.
- 中道克夫 (1973) 津軽海峡西口における旋網ホッケについて. 北水試月報, **30**(3), 1-4.

- NAGAYA, Y. and K. NAKAMURA (1987) $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{137}Cs concentrations in some marine biota, mostly from the seas around Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 873-879.
- 新潟県水産試験場 (1990, 1991, 1992, 1993, 1994) 新潟県水産試験場漁海況速報.
- 新潟県水産試験場 (1977) 重要魚種の資源と生態. 138pp.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局連絡調整課 (1993, 1994) 平成4・5年度農林水産省関係放射能調査研究年報, 32pp.
- 農林水産省農林統計情報部 (1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993) 漁業養殖業生産統計年報.
- 落合明・田中克 (1986) 魚類学 (下). 恒星社厚生閣, 東京, 1140pp.
- 小川良徳・小川清・狩野静枝 (1963) 日本海西南海域のホッケに関する2, 3の知見. *日水研報告*, **11**, 77-84.
- PENDLETON, R. C., C. W. MAYS, R. D. LLOYD and B. W. C HURCH (1965) A trophic level effect on caesium-137 concentrations. *Health Physics*, **11**, 1503-1510.
- PENTREATH, R. J. and D. F. JEFFRIES (1971) The uptake of radionuclides by I group plaice (*Pleuronectes platessa*) off the Cumberland coast, Irish Sea. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, **51**, 963-976.
- PENTREATH, R. J., D. S. WOODHEAD and D. F. JEFFRIES (1971) Radioecology of the plaice (*Pleuronectes platessa*) in the northeast Irish Sea. *In: Radionuclides in Ecosystem*. ed. D. J. Nelson, USAEC CONF-71050, 731-737.
- PRESTON, A. and D. F. JEFFRIES (1969) Aquatic aspects in chronic and acute contaminations situations. *In: Environmental contamination by radioactive material*. IAEA, Vienna, 183-211.
- 佐伯誠道 (1984) 環境放射能—挙動・生物濃縮・人体被曝線量評価—. ソフトサイエンス社, 東京, 546pp.
- 水産庁 (1958) 対馬暖流開発調査報告書第4号 (漁業資源篇). 332pp.
- SUZUKI Y., M. NAKAHARA, R. NAKAMURA and T. UEDA (1979) Roles of food and seawater in the accumulation of radionuclides by marine fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **45**, 1409-1416.
- SUZUKI, Y., R. NAKAHARA and T. UEDA (1973) Cesium-137 contamination of marine fishes from the coast of Japan. *J. Radiat. Res.*, **14**, 382-391.
- 竹村嘉夫・山根隆幹 (1953) 北海道西岸で捕獲されたホッケの食餌について. *日水誌*, **19**, 111-117.
- TATEDA, Y. and MISONOU, J. (1991) The ecological half-life of Cs-137 in Japanese coastal marine biota. *In: Radionuclides in the study of marine processes*. eds. P. J. Kershaw and D. S. Woodhead. Elsevier Applied Science, London 340-349.
- 苔米地洋文・小島伊織・山本正義 (1952) 水温とスケトウダラ及びホッケ分布. *北水試月報*, **9**(9): 50-56.
- WHICKER, F. W., W. C. NELSON and A. F. GALLEGOS (1972) Fallout ^{137}Cs and ^{90}Sr in trout from mountain lakes in Colorado. *Health Physics*, **23**, 519-527.
- WILLIAMS, L. G. and Q. PICKERING (1961) Direct and food-chain uptake of cesium-137 and strontium-90 in bluegill fingerlings. *Ecology*, **42**, 205-6.