



27

REPORT  
OF  
MARINE ECOLOGY RESEARCH INSTITUTE

海洋生物環境研究所研究報告

No. 99101

海産魚の栄養段階評価への放射性セシウムの適用

平成 11 年 3 月

March, 1999



# 海産魚の栄養段階評価への放射性セシウムの適用

笠松不二男<sup>1</sup>

## Application of Radiocesium to Evaluate Trophic Levels of Marine Fish

FUJIO KASAMATSU<sup>1</sup>

KASAMATSU, F. (1999). Application of Radiocesium to Evaluate Trophic Levels of Marine Fish. *Rep. Mar. Ecol. Res. Inst.*, No.99101:1-10.

**Abstract :** Trophic levels of marine fish were evaluated by using radiocesium (<sup>137</sup>Cs). The concentration factors (CF) of <sup>137</sup>Cs in the 18 marine fish species taken in the coastal waters of Japan during 1994-1997 and the stomach contents of these fishes were investigated. The relationship between the <sup>137</sup>Cs CFs and the trophic levels estimated from the weight composition of preys in the stomach contents was examined. Clear correlation between the <sup>137</sup>Cs CFs and the trophic levels (TL) of the marine fishes was established ( $R^2=0.90$ ,  $p<0.001$ ). The empirical relationship gives a trophic level (TL) of the marine fishes on the CF as  $TL = \ln(CF) - 0.6$ .

**Keywords :** Marine fishes, Trophic level, Radiocesium, <sup>137</sup>Cs, Concentration factor.

笠松不二男 (1999). 海産魚の栄養段階評価への放射性セシウムの適用. 海生研報告, No. 99101:1-10.

**要約 :** 海産魚の栄養段階を放射性セシウム (<sup>137</sup>Cs) を使って評価した。1994-1997年に日本沿岸で漁獲された海産魚18種中の人工放射性核種 <sup>137</sup>Cs 濃度と濃縮係数 (CF, 生物中濃度 / 海水中濃度) を測定するとともに、これら供試魚の胃内容物重量組成を調べた。供試魚の <sup>137</sup>Cs 濃縮係数と胃内容物重量組成から推定された栄養段階 (TL) との関係を探り、両者の関係が有意な相関を示すことを見出した。得られた経験式から、海産魚の栄養段階は、 $TL = \ln(CF) - 0.6$  (寄与率0.90、 $p<0.001$ ) で記述できることが示唆された。

**キーワード :** 海産魚類、栄養段階、放射性セシウム、<sup>137</sup>Cs、濃縮係数

---

<sup>1</sup> 財団法人海洋生物環境研究所事務局 (東京都千代田区神田神保町3-29)、  
3-29 Jinbo-cho, Kanda, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0051, JAPAN e-mail kasamats@sepia.ocn.ne.jp

## 目 次

I. まえがき	3	3. 放射能分析	5
II. 材料と方法	4	III. 結果と考察	6
1. 供試料	4	謝辞	9
2. 胃内容物調査と栄養段階の評価	5	引用文献	9

## 図 表 目 次

第1図	海産魚の試料採取海域	4
第2図	海産魚試料の胃内容物組成、( )内は、調査尾数	7
第3図	海産魚の <sup>137</sup> Cs濃縮係数と栄養段階、縦と横線はそれぞれ濃縮係数と栄養段階の平均値の標準誤差	8
第1表	試料魚の採取海域、 <sup>137</sup> Cs濃縮係数と栄養段階	6

## I. まえがき

栄養段階は、生物群集の食物連鎖において対象生物が基礎生産からどれ位の位置にあるかの指標として用いられ、生物生産の機構解明に利用されている。魚は一般に様々な環境の中で多様な餌生物種と結びつき、そして餌生物を季節や棲息海域によって多様に変化させる。言い換えれば、魚の栄養段階は固定されたものではなく、動的なものである。魚の食性あるいは栄養段階は、従来胃内容物分析により推定されてきた (EGGERS, 1977; ELLIOTT and PERSSON, 1978)。胃内容物は、その魚の食性を示す最も基本的な情報であるが、代表的な食性を把握するためには比較的数多くの標本と様々な時間帯での標本が必要となり、対象魚の時空間的な食性の変化を追跡するには多くの時間と労力が必要とされる。

セシウム (Cs) は、微量元素であって魚にとって必須元素ではないが、必須元素であるカリウム (K) のチャンネルを通して食物網に入り込むと考えられている (ROWAN and RASMUSSEN, 1994)。核分裂生成物の人工放射性核種セシウム - 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) は、核分裂からの生成量が多く、また物理的半減期が長いいため従来から海洋環境放射能汚染の重要な鍵核種とされ、そのため海洋中及び生物中での挙動に関して様々な調査研究がなされてきた (江上, 1973; 佐伯, 1984)。この核種の環境中への負荷は、1954-1962年、そして1980年における大気圏中での核爆発実験による大気圏中への放出であり、また1986年に起きた旧ソ連のチェルノブイル原子力発電所事故による放出により本核種への関心が再び引き起こされた。

一般に、海産魚類への  $^{137}\text{Cs}$  の取り込みにおいては餌からの寄与が大きいと考えられ (SUZUKIら, 1992)、海産生物群集内で栄養段階が上がるにしたがって本核種の濃度が増加すると考えられていたが、その生物濃縮の程度、食物連鎖の影響等に関して統一的な記述は見られなかった (GUSTAFSON, 1967; REICHLERら, 1970; THOMANN, 1981; MALIHOTら, 1988)。KASAMATSU and ISHIKAWA (1997)、笠松 (1999) は、海産生物中での本核種の挙動に関して統一的な記述を試み、生物濃縮及び魚の栄養段階と本核種濃度との関係の明確な事例を示した。本報では、この  $^{137}\text{Cs}$  の特性を利用し海産魚の栄養段階の評価を試み、その結果を示した。

## II. 材料と方法

### 1. 供試料

1994～1997年に日本沿岸で漁獲された合計18種（表層系魚種、通常の棲息域が深度約100～150m以浅）107試料中の人工放射性核種( $^{137}\text{Cs}$ )濃度を分析した。供試魚種名と採取海域を第1図に示した。海水試料は、表面(海表面から1～2m下の海水)と下層(海底から10～20m上の海水)からの2試料をそれぞれの採取点から年1回採取した。



第1図 試料魚の採取海域

## 2. 胃内容物調査と栄養段階の評価

上記18種合計 7,312尾の胃内容物を調べた。魚種によっては、年あるいは季節的に餌生物種が大きく変化することがあるので、4年間の春と秋にそれぞれ年2回胃内容物を調べた。胃内容物は、大型魚類（ここでは便宜的に全長15cm以上）、小型魚類（全長15cm未満）、小型甲殻類（主に十脚目）、小型頭足類、動物プランクトン及びマクロベントス類（主に多毛類）の6グループに分け、それぞれの重量組成を調べた。各魚種の栄養段階の推定は、胃内容物の重量組成から以下の式を用いて行った。

$$TL_a = \sum (v_i t_i) + 1$$

ここで  $TL_a$  は  $a$  種の栄養段階、 $v_i$  は餌生物  $i$  グループの全胃内容物重量に対する重量比、そして  $t_i$  は  $i$  グループの栄養段階である。ここで、餌生物の栄養段階は、既報で採用されている値 (ZANDEN and RASMUSSEN, 1996; ROWANら, 1998) と同様に、植物プランクトンは栄養段階1、動物プランクトン類とマクロベントス類は栄養段階2、小型甲殻類（十脚目、アカエビ等）と小型頭足類（ドスイカ等）は栄養段階2.5、そして動物プランクトンを主な餌とする小型魚の栄養段階は3、小型魚、小型甲殻類及び小型頭足類を含む餌を摂餌する大型魚は3.5とした。

## 3. 放射能分析

試料魚の前処理および分析は、科学技術庁放射能測定法シリーズに準拠して日本分析センター（千葉市）で行った。試料魚は、表面の水分をよく拭き取った後、各個体毎に体長・体重を計測し、試料魚種に応じた前処理を行った。試料魚は、肉部・内臓・脊椎骨・その他の4部位に分割し、分取した筋肉試料の重量を計測して大型磁性皿に入れ、熱風乾燥機を用いて105℃で乾燥後、大型電気炉に移し、450℃で24時間灰化した。灰化した試料は、粉碎後0.35mmのふるいを通し、よく混合して放射能分析用試料とし、Ge半導体検出器を用いたγ線スペクトロメトリーを行った。海水中の<sup>137</sup>Cs分析は、海水試料50ℓからモリブデン酸アンモニウム-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。

核種の生物体への取り込み量の推定は、一般に濃縮係数 ( $CF$ , Concentration Factor-生物中濃度 / 海水中濃度) が利用される。この基礎になる考え方は、生物はその環境となんらかの平衡を保っており、この平衡関係を表す定数を用いて、環境中でのレベ

ルから生物中のレベルを推定しようとするものである。したがって、この係数を使用する場合には、生物・環境の平衡関係が確かに成立しているかどうかが重要となる。 $^{137}\text{Cs}$  の場合、近年の海水中濃度がかなり安定しているので (KASAMATSU and INATOMI, 1998)、平衡関係を仮定できる。なお、各供試魚の濃縮係数は、当該魚が主に棲息する海域の海水中の濃度 (KASAMATSU and INATOMI, 1998) に基づいて求めた。

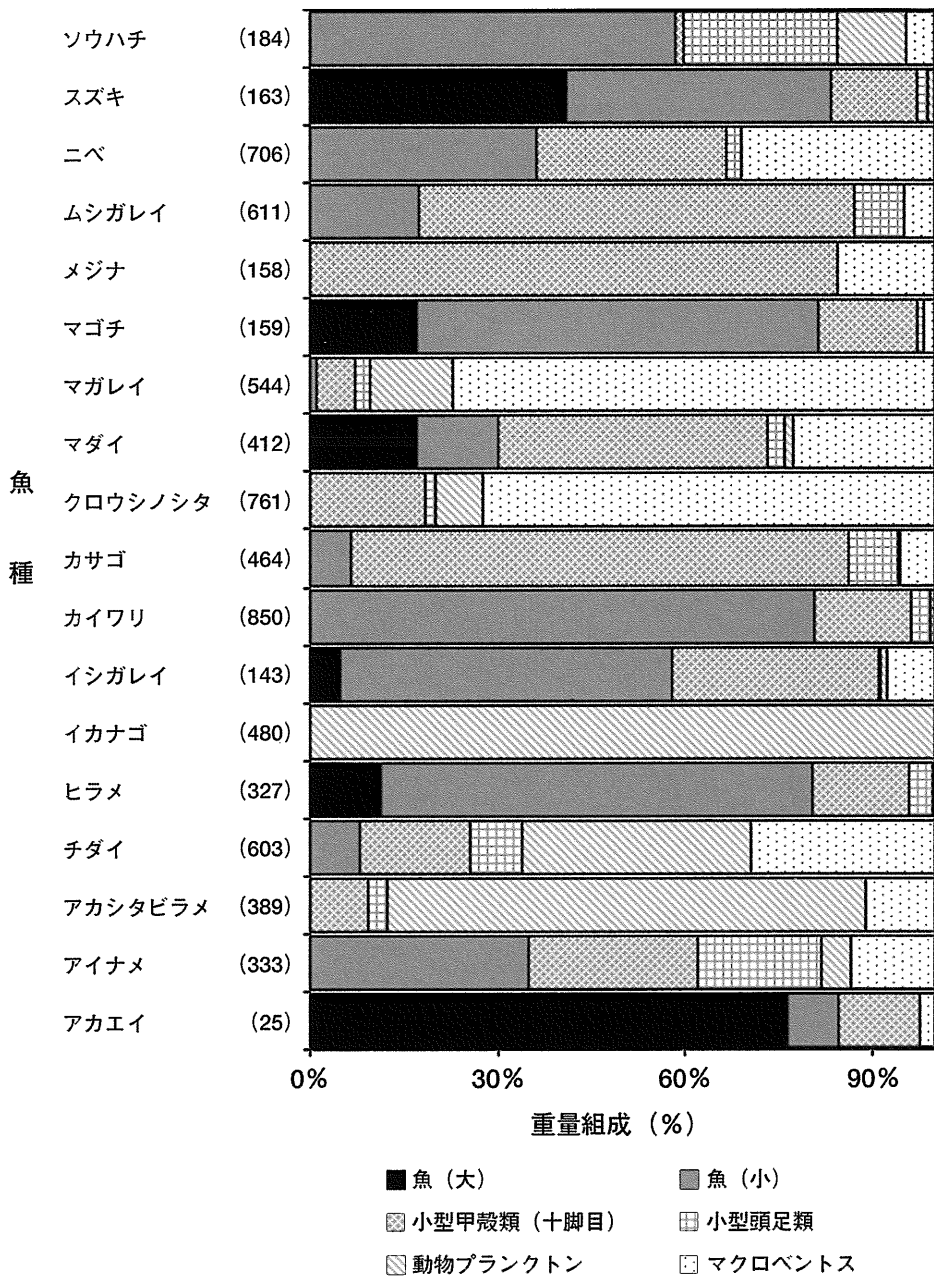
### Ⅲ. 結果と考察

供試海産魚18種の海産魚類供試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃縮係数の平均値および栄養段階を第1表に、供試魚の胃内容物重量組成を第2図に示した。胃内容物組成から得られた栄養段階 (TL) と  $^{137}\text{Cs}$  濃縮係数 (CF) との間には良い相関があり (第3図)、海産魚類の栄養段階は、その90%が  $^{137}\text{Cs}$  濃縮係数で説明できることが示された。この経験式から、海産魚類の栄養段階は、 $TL = \ln(CF) - 0.6$  ( $R^2 = 0.90, p < 0.001$ ) として記述できることが示された。

第1表 試料魚の採取海域、濃縮係数と栄養段階

魚種	海 域	試料数	濃縮係数		栄養段階		
			平均	標準誤差	平均	標準誤差	
アカエイ	<i>Dasyatis akajei</i>	鹿児島	4	92	9.4	4.3	0.20
アイナメ	<i>Hexagrammos otakii</i>	宮城	7	46	4.0	3.6	0.07
アカシタビラメ	<i>Cynoglossus joyneri</i>	愛媛	3	34	1.3	3.1	0.09
チダイ	<i>Evynnis japonica</i>	鹿児島	6	50	3.0	3.3	0.06
ヒラメ	<i>Paralichthys olivaceus</i>	島根	13	66	2.9	4.0	0.03
イカナゴ	<i>Ammodytes personatus</i>	宮城	2	27	0.0	3.0	0.00
イシガレイ	<i>Kareius bicoloratus</i>	福島	6	55	5.1	3.8	0.04
カイワリ	<i>Caranx equula</i>	鹿児島	5	60	2.8	3.9	0.07
カサゴ	<i>Sebastes marmoratus</i>	佐賀	5	56	3.6	3.5	0.05
クロウシノシタ	<i>Paraplagusia japonica</i>	静岡	5	31	1.5	3.1	0.04
マダイ	<i>Pagrus major</i>	島根	9	49	1.8	3.6	0.06
マガレイ	<i>Limanda herzensteini</i>	福島・茨城	6	28	1.9	3.1	0.02
マゴチ	<i>Platycephalus indicus</i>	静岡	5	58	4.5	4.0	0.09
メジナ	<i>Girella punctata</i>	佐賀	4	43	4.4	3.4	0.04
ムシガレイ	<i>Eopsetta grigorjewi</i>	島根	7	48	4.6	3.6	0.08
ニベ	<i>Nibea mitsukurri</i>	静岡	5	48	2.5	3.5	0.09
スズキ	<i>Lateolabrax japonicus</i>	佐賀・福島	13	91	3.2	4.1	0.08
ソウハチ	<i>Cleisthenes pinetorum</i>	北海道	2	54	2.5	3.7	0.16

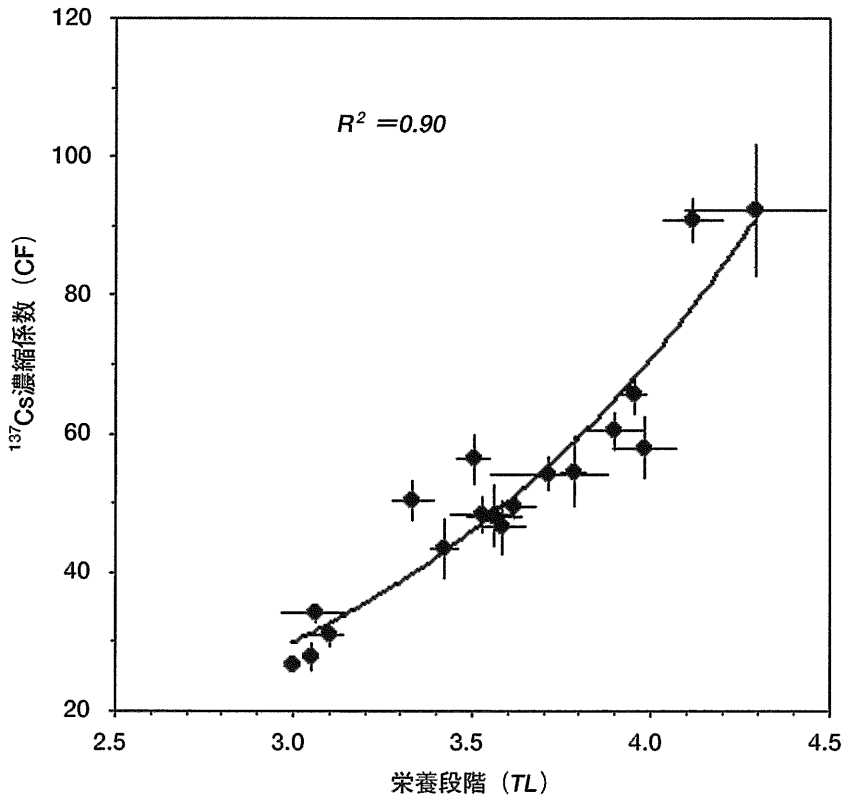




第2図 海産魚供試料の胃内容物組成。( )内は調査尾数

海産魚類中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、主に摂餌している生物の濃度によって支配されるが (KASAMATSU and ISHIKAWA, 1997)、その他に環境要因 (水温や塩分) によっても魚体中

の  $^{137}\text{Cs}$  の排出が影響され、その結果体内濃度が変化することが示されている (HASANENら, 1968; KOLEHMAINENら, 1968; COCCHIOら, 1995; 石川ら, 1997; SUZUKIら, 1998)。このことは、 $^{137}\text{Cs}$  の濃縮係数を用いて栄養段階を推定する場合には、水温や塩分が大きく異なる海域間の魚類の栄養段階を比較する際に注意が必要となることを意味する。たとえば、深海に生息するスケトウダラやニギスなどと表層系の魚類の栄養段階を  $^{137}\text{Cs}$  を用いて比較することはできない。また、汽水域を主な生息域とする魚類と海洋を主な生息域とする魚類との間でも比較することはできない。このような制約はあるが、同じ水系あるいは水域に生息する海産魚類の栄養段階あるいは食性の時間的（成長に伴う変化や季節的な変化）・空間的な変動、そして食物連鎖の数量的な把握においては有効であろうと考えられる。



第3図 海産魚の  $^{137}\text{Cs}$  濃縮係数と栄養段階。縦と横線は、それぞれ濃縮係数と栄養段階の平均値の標準誤差。

## 謝 辞

3名の査読者（東京大学名誉教授羽生功博士、同平野禮次郎博士、海洋生物環境研究所待鳥精治博士）のご高閲とご意見に対しお礼もうしあげる。本研究は、科学技術庁の海洋環境放射能総合評価事業の一環として実施した。

## 引用文献

- COCCHIO, L.A., RODGERS, D.W., and BEAMISH, F.W.H. (1995). Effects of water chemistry and temperature on radiocesium dynamics in rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **52**,607-613.
- 江上信雄 (1973). 放射能と魚類. 398 pp. 恒星社厚生閣.東京.
- EGGERS, D.E. (1977). Factors in interpreting data obtained by diel sampling of fish stomachs. *J. Fish. Res. Board Can.*, **34**, 290-294.
- ELLIOTT, J.M., and PERSSON, L. (1978). The estimation of daily rates of food consumption for fish. *J. Anim. Ecol.*, **47**,977-991.
- GUSTAFSON, P.F. (1967). Comments on radionuclides in aquatic ecosystems, pp.853-858.  
*In: Aberg, B., and Hungate, F.P. (eds.), Radioecological concentration processes. Pergamon Press, Oxford.*
- HASANEN, E., KOLEHMAINEN, S.E. and MIETINEN, J.(1968). Biological half-times of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{22}\text{Na}$  in different species and their temperature dependence, pp.401-406. *In: Proceeding of First International Congress of Radiation Protection, Pergamon Press, London, 1968.*
- 石川雄介・丸茂恵右・笠松不二男・長屋裕・鈴木讓・坂元思無邪・中原元和・中村良一・中村清 (1997). スズキの放射性セシウム蓄積における海水塩分の影響, pp.81-82. 第39回環境放射能調査研究成果論文抄録集 (平成8年度). 科学技術庁.
- 笠松不二男(1999) 海産生物と放射能—特に海産魚中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度に影響を与える要因について—. *RADIOISOTOPES* **48**:266-282.
- KASAMATSU, F., and INATOMI, Y. (1998). The effective environmental half-life of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in coastal seawaters of Japan. *J. Geophys. Res.*, **103**,1209-1217.
- KASAMATSU, F., and ISHIKAWA, Y. (1997). Natural variation of radionuclide  $^{137}\text{Cs}$  concentration in marine organisms with special reference to the effect of food habits and trophic level.

- Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **160**:109-120.
- KOLEHMAINEN, S.E., HASANEN, E., and MIETTINEN, J. (1968).  $^{137}\text{Cs}$  in the plants, plankton, and fish of Finish lakes and factor affecting its accumulation, pp.407-415. *In: Proc. First Intern. Congress of Radiation Protection, Pergamon Press.*
- MAILHOT, H., PETERS, R.H., and CORNETT, R.J. (1988). Bioaccumulation of cesium by aquatic organisms. *Int. Ver. Theor. Limnol. Verh.*, **23**:1602-1609.
- REICHLER, D.E., DUNAWAY, P.B., and NELSON, D.J. (1970). Turnover and concentration of radionuclides in food chains. *Nuclear Safety*, **11**:43-55.
- ROWAN, D.J., CHANT, L.A., and RASMUSSEN, B. (1998). The fate of radiocesium in freshwater communities — why is biomagnification variable both within and between species? *J. Environ. Radioactivity*, **40**, 15-36.
- ROWAN, D.J., and RASMUSSEN, J.B. (1994). Bioaccumulation of radiocesium by fish: the influence of physicochemical factors and trophic structure. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **51**:2388-2410.
- 佐伯誠道 (1984). 環境放射能—挙動・生物濃縮・人体被曝・線量評価—、佐伯誠道編集  
SOFT SCIENCE INC.Tokyo.
- SUZUKI, Y., ISHIKAWA, Y., KASAMATSU, F., NAGAYA, Y., SAKAMOTO, S., NAKAHARA, M. and NAKAMURA, R. (1998). Effect of environmental conditions on Cs-137 accumulations in Japanese seabass (*Lateolabrax Japonicus*), pp651-652. *In: Extended Synopses of International Symposium on Marine Pollution, Monaco, Oct., 1998.*
- SUZUKI, Y., NAKAMURA, K., NAKAMURA, R., NAKAHARA, M., ISHII, T., MATSIBA, M., and NAGAYA, Y. (1992). Radioecological studies in the marine environment, pp.484-491. *In: Proceeding of the International Conference on Radiation Effects and Protection. Japan Atomic Energy Institute, Tokyo.*
- THOMANN, R.V. (1981). Equilibrium model of fate of microcontaminants in diverse aquatic food chains. *Can. J. Fish. Aquat. Res. Sci.*, **38**:280-296.
- ZANDEN, J.V., CABANA, G., and RASMUSSEN, J.B.(1997). Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios ( $\delta^{15}\text{N}$ ) and literature dietary data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **54**:1142-1158.