

## 〈水産海洋アーカイブズ 5〉

## レジームシフトと資源変動

川崎 健 (1928~)

谷津明彦<sup>1,†</sup>・高橋素光<sup>1</sup>

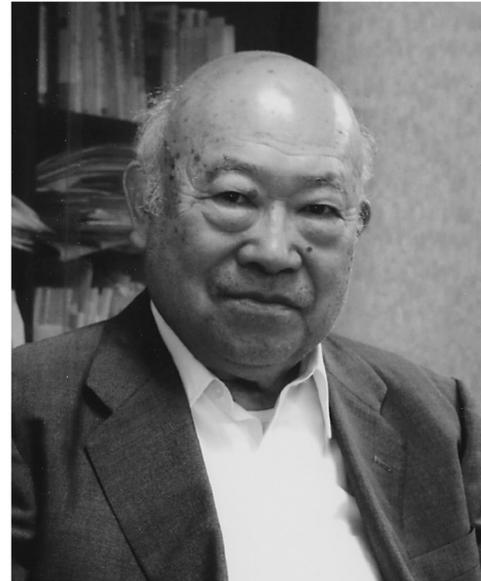
## はじめに

レジームシフトという言葉が「大気・海洋・海洋生態系から構成される地球表層システムの基本構造(レジーム)が数十年間隔で転換(シフト)すること」として広辞苑に掲載されたのは2008年である。その少し前から、水産庁でも特別な説明無しにこの言葉が使用されるようになっていた。レジームシフトに関する総説(Bakun, 2004)やChavez et al. (2003)によるマイワシとカタクチイワシの魚種交代とPDO(Pacific Decadal Oscillation Index)の関連を示したインパクトのある論文がScience誌に掲載されたのもこの頃である。なお、レジームシフトの時空間的規模は、数十年及び大洋または地球である。

古典的な水産資源管理の考え方では、静的(平衡的)な個体群動態を仮定し、最大持続漁獲量MSY(Maximum Sustainable Yield)が典型的な管理目標とされてきた。しかし、実際の海洋生態系は非定常・非平衡的で、系群(個体群)の数量変動は漁獲に加え、物理・化学・生物学的な環境変動の影響を大きく受けることは明白である。また、環境変動はランダム(ホワイトノイズ)ではなく、生態系の構造や生産力が10年規模でシフトすることが30年前頃に明らかになってきた。なお、10年規模とは10年以上100年未満変動の総称である。ここでは、海洋学の重鎮でPICESの創始者でもある故Warren Wooster博士によりレジームシフトの父と呼ばれた川崎 健博士がレジームシフト現象に気づいてから世界で認められるまでに至った道程を振り返り、その後の展開を紹介する。

## 研究の端緒—同期する漁獲量変動から転換点へ

水産庁東海区水産研究所から東北大学に異動する1974年頃、川崎は日本、カリフォルニア、ペルー、チリのマイワシ漁獲量の変遷が似ていることを見つけ(図1)、その理由を考えていた。そして、異なる生態系において同期する漁獲量変動を説明できるのは、地球規模で生じる気候変動ではないかとのアイデアに至った。その頃の著作(川崎, 1977, 1982)では、浮魚類の生活史と資源変動実態の考察



川崎 健

により平衡理論を批判し、環境と漁獲の影響の双方を考慮する必要性を指摘した。

たまたま、1983年4月にコスタリカのサンホセで開かれたFAOの専門家会議「Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish Resources」に招待されていた田中昌一博士(東京大学名誉教授、本学会名誉会員、旧制台北高等学校における川崎の1年先輩)の誘いで、世界の指導的研究者を前に、黒潮・カリフォルニア海流・フンボルト海流のマイワシ資源の同期した変動を指摘する(Kawasaki, 1983)という幸運を得た。しかし、その会議に出席していた著名な水産資源学者Andy Bakun博士らによる当時の評価は、「同時的な漁獲圧変化に基づく見かけ上の同期ではないか」と懐疑的なものであった。世界各水域の浮魚資源の変動に関し、当時主流であった水産資源学者らは次のように述べていた(川崎, 2009)。「漁業はマイワシやカタクチイワシの極端な変動を引き起こしているので評判が悪い。カリフォルニア海流のマイワシとベンゲラ海流のマイワシは激しい漁獲によって崩壊した。アンチョベータ資源が激しい漁獲の結果崩壊したことはよ

<sup>1</sup> 水産総合研究センター西海区水産研究所  
〒851-2213 長崎市多良町1551-8

<sup>†</sup> yatsua@affrc.go.jp

く知られている。」

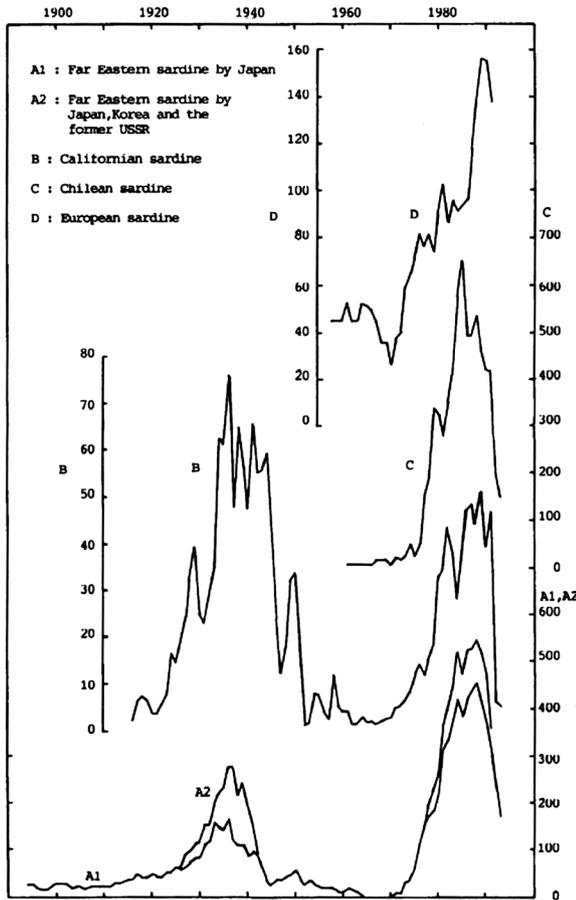


図1. 世界のマイワシ類の漁獲量の長期変動 (万トン), 1894～1993年 (川崎, 1994). Kawasaki (1983) は1980年までの漁獲量に基づいていることに留意. A1: 極東マイワシ (日本漁業による), A2: 極東マイワシ (日本, 朝鮮, ロシア漁業による), B: カリフォルニア・マイワシ, C: チリ・マイワシ, D: ヨーロッパ・マイワシ.

### 生態系の構造転換概念の誕生—パラダイムシフト

1986年11月にスペインのビゴで開かれたシンポジウムにおいて「太平洋に分布するマイワシ3種の資源変動と全球気温の傾向」(Kawasaki and Omori, 1988)を公表し, マイワシ漁獲量と地球平均気温との相関に加え, マイワシとカタクチイワシの魚種交代を指摘した. Kawasaki and Omori (1988) は, 1) マイワシの漁獲量と北半球高緯度域の平均気温の偏差は強く相関すること, 2) マイワシからカタクチイワシへの魚種交代が黒潮域でもフンボルト海流域でも同時に生じたこと, 3) 全球レベルで同一分類群の同期的なバイオマスの変動が起こっているだけではなく生態系の転換が同時に生じていることを示した. このように, この時期に川崎は既に「大気—生物系の基本構造」を認識していた. ビゴでの発表直後に, メキシコのCIB (カリフォルニア半島生物研究センター) 所長のLluch-Belda博士とスクリップス海洋研究所のSchwartzlose博士が近づいてきて, 「面白い, 国際ワークショップをやらうじゃないか」と呼びかけられた. これにより, 1987年11月には第1回 Regime Problem Workshopがメキシコのラパスで開催され, 多くの水産資源学者 (図2) から賛同を得ることができた. また, 参加者はKawasaki (1983) が浮魚生態系の基本構造の問題を初めて指摘したという認識で一致し, この研究集会の名称から regime shift という用語が生まれ, Wooster博士による称号「レジームシフトの父」の由来となった.

合計3回開催された Regime Problem Workshop 及び1989年の仙台での研究集会に基づく Long-term variability of pelagic fish populations and their environment (Kawasaki et al., 1991) の刊行により, 川崎は世界の小型浮魚類の資源変動とその要因探求へと研究を発展させた. これについては, Cushingによる名著「気候と漁業—気候の変化が水産資源におよぼす影響」の和訳の補記 (川崎, 1986) や川崎 (1994) 及び川崎ほか (2007) に詳しく解説されている. これら一連の研究集会は, 1987年の SCOR (Scientific Committee on Oceanic Research) の WG98 (Worldwide Large-scale Fluctuations of



図2. 第1回 Regime Problem Workshop (1987年, メキシコ La Paz) での参加者

Sardine and Anchovy Populations) の設置や1994年のGLOBEC (Global Ocean Ecosystem Dynamics) のSPACC (Small Pelagic Fishes and Climate Change) プログラムの開始へと進展した。これらの成果はCheckley et al. (2009) やBarange et al. (2010) にまとめられている。

このようにして1990年代初期にはレジームシフト現象が広く認識された。Bakun (1996) は、1980年代後半に起こった上記3海域のマイワシ漁獲量の一斉降下を目の当たりにして論理転換をせまられたとし、「帰ってきた川崎」と讚えた。やや詳しくなるが、川崎ほか (2007) によると次のようである。「FAOのサンホセ会議 (1983年) で私 [Bakun] たちは、浮魚資源の大変動は人間の技術力を増大させ、資源に対して圧倒的な漁獲力が急速に加えられたために生じたとした。この考え方は、当時の科学的思想の中に十分納まっていた。[川崎注：当時の科学的思想とは、資源の自然増加量と漁獲強度とが平衡関係にあるとする平衡理論=MSY理論のこと] 同じ会議で日本の川崎教授は、同じ問題について非常に異なった見方をした。一步下がって複数のマイワシ資源の漁獲量を広い立場で眺めると、大洋全体の同期性の顕著なパターンが現われるというのである。これに対する私の反応は正当な科学的懐疑主義であった。メカニズムはどうか？ おそらく市場要因や技術革新が、異なる水域でほぼ同時に作動したのではないか？あるいは見かけ上の同時性は偶然に過ぎないのではないか？ 変曲点が将来同時に現われるなら彼を信用しよう。川崎は帰ってきた。1980年代の後半に4つの海域 (黒潮、カリフォルニア、フンボルト、ベンゲラ) で同時にregime changeが始まった。Kawasaki and Omori (1988) が主張するように、このことを気候との全球的な結びつきで説明するのは完全に論理的であった。」

### レジームシフト概念の普及

気候と海洋物理の研究分野でもレジームシフトの概念に結びつく重要な展開があった (花輪, 2007)。すなわち、気候要素において複数の安定解の間を遷移する「準自動システム」の概念が1968年に提唱され、日本各地の気温、海面気圧、降水量などが1950年ごろに一斉に変化した「気候ジャンプ」がYamamoto et al. (1986) により明らかにされた。続いて柏原 (1987) は、冬季アリューシャン低気圧が1970年代半ば以降発達する傾向があることを指摘した。この論文が刺激となり、Nitta and Yamada (1989) は1970年代後半以降に熱帯域の海面水温が上昇し対流活動が活発化していること、北太平洋ではアリューシャン低気圧が発達したことを指摘した。その直後にTrenberth (1990) が同様のテーマで発表し、世界中の研究者が10年規模変動に注目することになった。

物理現象のレジームシフトが生じた年として、全球海洋の広範囲における同期した有意な海面水温変化などに基

き、Yasunaka and Hanawa (2002) は1925/26年、1942/43年、1957/58年、1970/71年、1976/1977年を報告した。なお、1988/89年にも北半球で急激な変化が起こったことが報告されたが、熱帯や南半球での変化のシグナルはすぐに消滅したという。その後、1998/99年 (King, 2005) 及び2000年代後半 (見延, 2012) にもレジームシフトが認められている。Minobe (1999) は、複数の気候・海洋データに統計的に有意な振幅が20年及び50年程度の周期で存在することを示し、20年変動と50年変動が同時期に同方向に符号反転することが急峻な遷移の発生に必要であるとした。なぜ気候・海洋要素に10年規模変動が生じるかのメカニズムについては、1) 海洋または大気海洋システムへの外力説 (例：潮汐の18.6年周期変動)、2) 現象の時間スケールより1桁短い時間で生じる同時フィードバック説、3) 現象の時間スケールの半分程度で働く遅延フィードバック説が有力であるものの、そもそもメカニズムはなく、大気の擾乱に対して海洋がレッドノイズ的に応答したに過ぎないという立場もあり、結論は得られていない (見延, 2007, 2012)。

20世紀以前の記録についても様々な発見が続いた。例えばMinobe (1997) は、北米西部の樹木年輪から復元された春季の気温データを用いて、統計的に有意な50~70年変動の存在を示した。また、Klyashtorin (2001) は、グリーンランドの氷床に封入された酸素の安定同位体比分析から推定した過去400年間の気温変動と江戸時代以来の日本マイワシの豊漁期 (川崎 (1994) も参照) が50年程度の周期で同期していたことを発見した。このように、50年程度の周期的変動が20世紀のみならず相当長期間にわたって存在することが明らかになり、Kawasaki and Omori (1988) の指摘が検証された。

イワシ類以外の生物データについても、動物プランクトン (Brodeur and Ware, 1992; Yatsu et al. 2008)、サケ類 (帰山 in 川崎ほか, 2007)、底魚類 (二平, 2007; Yatsu et al., 2008)、スルメイカ (Sakurai et al., 2000)、マグロ類 (川崎, 2005; Kurota and Kai, 2012) などで10年規模変動が発見された。水産海洋学会でも多くのシンポジウムや研究集会在開催され (表1)、レジームシフト現象は急速に認識されるようになった。このような10年規模かつ地球あるいは大洋規模での気候と海洋生態系の変動研究の融合を通じて、レジームシフト研究が進展した。

20世紀半ばまで、水産資源の量的変動は人間活動 (漁獲) による密度依存的な平衡理論、すなわちMSY理論で説明されてきた (図3)。言い換えれば、気候や海洋環境変動に基づく資源量変動は無視されてきた。しかし、上記の一連の研究成果は古典的な資源管理論に大きな改革を迫るとともに、新たな資源管理の考え方の提唱 (川崎, 1999; 青木ほか, 2005; King, 2005; Kurota and Kai, 2012; Vert-pre et al., 2013) のみならず、社会体制のあり方検討へも影響を及ぼした (川崎, 1987, 1992, 2009, 2013b, 図2)。なお、レジー



究者によって3つ (Winemiller and Rose, 1992) あるいは5つ (King and McFarlane, 2003) の生活史戦略にまとめられたが、基本となる考え方は川崎のものである。また、この1980年の論文のタイトル fundamental relations はまさに川崎の姿勢を表している。

## 略歴

- 1928年 中国福州市生まれ
- 1950年 東北大学農学部水産学科卒
- 1950年 水産庁東北区水産研究所
- 1965年 水産庁東海区水産研究所
- 1969年 日本学術会議会員 (～1985年)
- 1975年 東北大学農学部教授 (～1991年)
- 1985年 東北大学農学部長 (～1989年)
- 1991年 東北大学名誉教授
- 1992年 国立台湾海洋大学客員教授・水産試験所客員研究員 (～2000年)
- 2007年 畑井メダル受賞 (太平洋の海洋生物学分野において優れた功績を残した研究者に太平洋学術協会から贈られる国際賞)
- 2010年 水産海洋学会名誉会員

## 文献

- 青木一郎・二平章・谷津明彦・山川卓編 (2005) 「レジームシフトと水産資源管理」. 恒星社厚生閣, 東京, 143 pp.
- Bakun A. (1996) Patterns in the Ocean. California Sea Grant, La Jolla, and Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste, La Paz, 323 pp.
- Bakun, A. (2004) Chapter 25—Regime shifts. In *The Sea* vol. 13, eds. A. Robinson & K. Brink, Harvard University Press, Cambridge, 971–1026.
- Barange, M., R. Harris, F. Werner, E. Hofmann, R.I. Perry and J. Field (eds.) (2010) *Marine Ecosystems and Global Change*. Oxford University Press, Oxford, 412pp.
- Brodeur R. D. and D. M. Ware (1992) Long-term variability in zooplankton biomass in the Subarctic Pacific Ocean. *Fish. Oceanogr.*, **1**, 32–38.
- Chavez, F. P, J. Ryan, S. E. Lluch-Cota and M. Niquen (2003) From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, **299**, 217–221.
- Checkley, D., J. Alheit, Y. Oozeki and C. Roy (eds.) (2009) *Climate Change and Small Pelagic Fish*. Cambridge University Press, New York, 372 pp.
- Cushing, D. H. 著, 川崎 健訳 (1986) 「気候と漁業—気候の変化が水産資源におよぼす影響」. 恒星社厚生閣, 東京, 378 pp.
- 花輪公雄 (2007) 海洋環境のレジーム・シフト. 「レジーム・シフト—気候変動と生物資源管理」川崎 健・花輪公雄・谷口旭・二平章編, 成山堂書店, 東京, 11–20.
- 柏原辰吉 (1987) 北太平洋を中心とした最近の冬季の寒冷化について. *天気*, **34**, 777–781.
- 川崎 健 (1977) 「魚と環境—大漁・不漁の生物学 (イルカぶっくす11)」. 海洋出版, 東京, 126 pp.
- Kawasaki, T. (1980) Fundamental relations among the selections of life history in the marine teleosts. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **46**, 289–293.
- 川崎 健 (1982) 「浮魚資源」. 恒星社厚生閣, 東京, 327 pp.
- Kawasaki, T. (1983) Why do some pelagic fishes have wide fluctuations in their numbers? *FAO Fish. Rep.*, **201**, 1055–1080.
- 川崎 健 (1987) 「海と魚とわたしたち—これからの日本漁業 (社会・未来・わたしたち)」. 岩崎書店, 東京, 71 pp.
- 川崎 健 (1992) 「魚・社会・地球—川崎健科学論集」. 成山堂書店, 東京, 262 pp.
- 川崎 健 (1994) 浮魚生態系のレジーム・シフト (構造的転換) 問題の10年—FAO 専門家会議 (1983) から PICES 第3回年次会合 (1994) まで. *水産海洋研究*, **58**, 321–333.
- 川崎 健 (1999) 「漁業資源—なぜ管理できないのか」. 成山堂書店, 東京, 210 pp.
- 川崎 健 (2003) 地球システム変動の構成部分としての海洋生態系のレジーム・シフト. *月刊海洋*, **393**, 196–205.
- 川崎 健 (2005) 「漁業資源 (二訂版)」. 成山堂書店, 東京, 246 pp.
- 川崎 健 (2009) レジーム・シフト理論形成の系譜. *月刊海洋*, **459**, 3–20.
- 川崎 健 (2009) 「イワシと気候変動—漁業の未来を考える」. 岩波新書, 東京, 198 pp.
- 川崎 健 (2013a) 科学者運動と科学研究を結びつけた半世紀—日本科学者会議第19回総合学術研究集会 (2012年9月, 岡山大学) におけるマスターズレクチャー. *JSAe マガジン* (<http://www.jsa.gr.jp/>)
- 川崎 健 (2013b) 国連海洋法条約と地球表層科学の論理. *経済*, **216**, 137–147.
- Kawasaki, T. (2013) *Regime Shift—Fish and Climate Change*. Tohoku University Press, Sendai, 162 pp.
- 川崎 健・花輪公雄・谷口 旭・二平 章編 (2007) 「レジーム・シフト—気候変動と生物資源管理」. 成山堂書店, 東京, 216 pp.
- Kawasaki, T. and M. Omori (1988) Fluctuations in the three major sardine stocks in the Pacific and the global trend in mean temperature. In *Int. Symp. Long-term Changes in Marine Fish Populations*, eds., T. Wyatt & M. G. Larraneta, Imprento REAL, Bayona, 37–53.
- Kawasaki, T. and M. Omori (1995) Possible mechanisms underlying fluctuations in the Far Eastern sardine population inferred from time series of two biological traits. *Fish. Oceanogr.*, **4**, 238–242.
- Kawasaki, T., S. Tanaka, Y. Toba and A. Taniguchi (eds.) (1991) Long-term variability of pelagic fish populations and their environment. *Proceedings of the International Symposium*, Sendai, Japan, 14–18 November 1989. Pergamon Press, Oxford, xi+402pp.
- King, J. R. and G. A. McFarlane (2003) Marine fish life history strategies: Applications to fishery management. *Fish. Manag. Ecol.*, **10**, 249–264.
- King, J. (ed.) (2005) Report of the Study Group on Fisheries and Ecosystem Responses to Recent Regime Shifts. *PICES Sci. Rep.*, **28**, 162 pp.
- Klyashtorin, L. B. (2001) Climate change and long-term fluctuations of commercial catches: The possibility of forecasting. *FAO Fish. Tech. Paper*, **410**, FAO, Rome, 86 p.
- Kurota, H. and M. Kai (2012) Characteristics of historical population dynamics of temperate tunas in the North Pacific and implications for management. Document submitted to the WCPFC Management Objectives Workshop (28–29 November 2012), MOW1-DP/01 Rev 1, 17 pp.
- Minobe, S. (1997) A 50–70year climatic oscillation over the North Pacific and North America. *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 683–686.
- Minobe, S. (1999) Resonance in bidecadal and pentadecadal climate oscillations over the North Pacific: Role in climatic regime shifts. *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 855–858.
- 見延庄士郎 (2007) 物理的環境におけるレジーム・シフトと十年スケール変動のメカニズム. 「レジーム・シフト—気候変動と生物資源管理」川崎 健・花輪公雄・谷口 旭・二平 章編, 成山堂書店, 東京, 45–61.
- 見延庄士郎 (2012) 気候・海洋レジームシフトのメカニズム候補

- と早期探知の可能性. 水産海洋研究, **76**, 228–230.
- 二平 章 (2007) レジーム・シフトと底魚資源. 「レジーム・シフト—気候変動と生物資源管理」. 川崎 健・花輪公雄・谷口 旭・二平 章編, 成山堂書店, 東京, 157–173.
- Nitta, T. and S. Yamada (1989) Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation. *J. Meteor. Soc. Jpn.*, **67**, 375–383.
- Sakurai, Y., H. Kiyofuji, S. Saitoh, T. Goto and Y. Hiyama (2000) Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. *ICES J. Mar. Sci.*, **57**, 24–30.
- Trenberth, K. E. (1990) Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, **71**, 988–993.
- Vert-pre, K. A., R. O. Amoroso, O. P. Jensen and R. Hilborn (2013) Frequency and intensity of productivity regime shifts in marine fish stocks. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, early edition. <http://www.pnas.org/content/early/2013/01/15/1214879110>.
- Winemiller, K. O. and K. A. Rose (1992) Patterns of life-history diversification in North American fishes: implications for population regulation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**, 2196–2218.
- Yamamoto, R., T. Iwashima, N. K. Sanga and M. Hoshiai (1986) An analysis of climatic jump. *J. Meteor. Soc. Jpn.*, **64**, 273–281.
- Yasunaka, S. and K. Hanawa (2002) Regime shifts found in the Northern Hemisphere SST field. *J. Meteor. Soc. Jpn.*, **80**, 119–135.
- 谷津明彦 (2008) レジームシフトを考慮した水産資源管理. 月刊海洋, **40**, 463–468.
- Yatsu, A., K. Y. Aydin, J. R. King, G. A. McFarlane, S. Chiba, K. Tadokoro, M. Kaeriyama and Y. Watanabe (2008) Elucidating dynamic responses of North Pacific fish populations to climatic forcing: Influence of life-history strategy. *Prog. Oceanogr.*, **77**, 252–268.
- 谷津明彦・渡邊千夏子 (2010) 「減ったマイワシ増えるマサバ (ベルソープックス037)」. 成山堂書店, 東京, 146 pp.