

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 27 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21380113

研究課題名（和文）亜寒帯水圏生態系キーストン種サケ属魚類の生態系サービスとリスク管理

研究課題名（英文）Risk management of Pacific salmon in the Northern Subarctic aquatic ecosystems as ecosystem service

研究代表者

梶山 雅秀 (KAERIYAMA MASAhide)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授

研究者番号：80305937

研究成果の概要（和文）：本研究では、生態系サービスの恩恵に与る人類が地球生態系に負の影響を及ぼしていることをかんがみ（ミレニアム生態系評価 2005）、海洋を含む水圏の豊かな生物生産を保証する多様性に富む水圏生態系の保全と人類存続のための資源利用の調和をはかることを目的に、サケ属魚類をキーストン種として亜寒帯水圏生態系の順応的管理と予防原則に基づく生態系ベースのサステナビリティとリスクマネージメントの研究を確立した。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to address the framework of the risk management including the adaptive management and precautionary principle based on the ecosystem through biology of Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.), which plays an important role as a keystone species in the subarctic ocean and interaction between marine and land ecosystems. Their carrying capacity links with the long-term climate change such as PDO and climate regime-shift, and relates to the density-dependent effect. The residual carrying capacity of chum salmon was positively correlated with body size, while negatively correlated with age at maturity. This indicates the density-dependent effect of hatchery population on growth pattern of wild salmon. On the other hand, the global warming affects growth and survival of juvenile chum salmon. Factors such as the biological interaction between wild and hatchery salmon, the effect of long-term climate change on production trend of Pacific salmon, and the role of anadromous fish on global material circulation suggest that the risk management based on sustainable adaptive management and precautionary principle in ecosystem is a very important consideration for the new fisheries science and the aquatic ecosystem conservation. The risk management based on adaptive management and precautionary principles, is one way to prioritize, identify, and potentially mitigate impacts resulting from diverse human activities in the northern Subarctic aquatic ecosystems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2010 年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	13,400,000	4,020,000	17,420,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：地球温暖化，シロザケ，鱗分析，成長バックカリキュレーション，環境収容力，密度依存効果，ユーコン川，耳石 Sr/Ca 分析

1. 研究開始当初の背景

水圏生態系は、複雑かつダイナミックな不確実性の高いシステムであり、自然要因ヒューマン・インパクトにより常に攪乱されている。生態系の構造と機能は生物多様性に依存するが、生物多様性の低下は**生物間相互作用ネットワーク**の構成要素の脱落を招き、さまざまな生態系サービスや回復力の喪失につながる。サケ属魚類は「支持」（海起源物質の陸域生態系への運搬）、「供給」（人間の食料）、「調整」（陸域生態系の生物多様性）および「文化」（環境・情操教育，安らぎ）の生態系サービスを地球生態系および人類にもたらす。サケ属魚類は亜寒帯水圏生態系のキーストン種であり、その環境収容力は長期的な気候変動とリンクして変動する。地球温暖化はすでにサケ属魚類に影響を及ぼし、分布南限域の個体群にはネガティブに、北海道系シロザケにはポジティブに作用している。一方、地球生態系は、人口増加による急激な資源・食料需要の拡大にともない、歴史上かつてない早さと規模で改変されつつある。海洋生態系の高次捕食者マグロ類は漁業開始以前の1/10にまで減少し、世界の総漁獲量は1990年代以降減少傾向にある。1980年代以降、シロザケの孵化場魚は指数曲線的に増加し、北太平洋生態系における野生魚と孵化場魚の置換を含む生物学間相互作用のネットワーク機序の解明が急がれている。

2. 研究の目的

本研究では、生態系サービスの恩恵に与る人類そのものが地球生態系に負の影響を及ぼしていることをかんがみ（ミレニアム生態系評価 2005）、サケ属魚類をキーストン種として北海道-オホーツク海-ユーコン川-ベーリング海にわたる亜寒帯水圏生態系の順応的管理と予防原則に基づく生態系ベースのサステナビリティとリスクマネジメントの確立をはかり、海洋を含む水圏の豊かな生物生産を保証する多様性に富む水圏生態系の保全と人類存続のための資源利用の調和をはかることを目的とする。具体的には、キーストン種であるサケ属魚類をターゲットに、亜寒帯水圏生態系におけるヒューマン・インパクトに対処した順応的管理と予防

原則に基づく生態系ベースの持続可能な資源管理と生態系リスク・マネジメントを構築するための科学的基盤を確立する。

3. 研究の方法

サケ属魚類の生活史戦略：①北海道系シロザケの長期間（約 75 年）にわたる鱗分析結果からバック・カリキュレーションにより年齢毎の成長パターンの経年変化を明らかにし、気候変動との関係を検討する。②ユーコン川におけるサケ属親魚の遡上生態（遡上時期，産卵場所，体サイズや孕卵数などの繁殖形質）と生活史（耳石 Sr/Ca 比微量分析，個体群動態，海洋生活期の摂餌動態等）を明らかにする。③オホーツク海における北海道系シロザケの成長速度と再残率に及ぼす海洋環境の影響を解析する。

野生魚と孵化場魚の生物学的相互作用：①北太平洋における気候変動とサケ属魚類の環境収容力との関係を明らかにする。②サケ属魚類の環境収容力と密度依存効果との関係を解明する。③サケ属魚類の孵化場魚と野生魚の長期的なバイオマス変動と遺伝学的集団構造を明らかにする。

地球温暖化がサケ属魚類に及ぼす影響評価：①IPCC/SRES-A1B シナリオによる亜寒帯海域の海面水温の長期的変動を予測し，②生活史パラメータへの地球温暖化の影響を明らかにする。

生態系ベースによる持続可能な資源管理モデル：キーストン種サケ属魚類の生活史モデル-モニタリングによる順応的管理手法と亜寒帯水圏生態系モデルによるリスク管理手法を確立する。

4. 研究成果

(2009 年度)

・北海道系シロザケは、60年間（1945-2005年）にわたる鱗分析と成長バックカリキュレーション結果から、1990年代以降地球温暖化のプラスの影響を受け1年目の成長量が増加し生残率が高くなり個体群サイズが著しく増加したこと、その結果、ベーリング海での限られた環境収容力により密度依存効果が顕著になったことが分かった。

・ IPCC/SRES-S1Bシナリオによる亜寒帯海域

のSST予測から、このまま地球温暖化が進むとシロザケの分布域は著しく狭まり、北極海などの北方へ移動せざるを得ないこと、密度依存効果が益々顕著となるであろうことがモデル研究から明らかになった。また、衛星画像からも北極海周辺の海氷の減少が明瞭に観察され、上記の予測の妥当性が示唆された。

・密度依存効果をANCOVEにより分析したところ、密度依存効果は個体群レベルにおいて顕著であり、メタ個体群レベルおよび種レベルに及ぼす影響はそれほど大きくないことが示唆された。

・米国アラスカ州ユーコン川に遡上するシロザケのナツザケ系（8月産卵）とアキザケ系（11月産卵）の耳石 Sr/Ca 比を分析した結果、ナツザケ系は非常に早い速度で遡上し産卵するのに対し、アキザケ系は河川に遡上してから産卵までかなりの時間を要することが分かった。このことは今後の温暖化時代におけるシロザケ、特にナツザケ系の適応課程に重要な示唆を与える。

(2010年度)

・ユーコン川産シロザケ親魚の体サイズや繁殖形質などの生物情報、耳石 Sr/Ca 比微量分析および鱗解析から、2000km 降河する幼稚魚は河川内でほとんど成長することなく降海していることが分かった。

・気候変動と生態系動態の関係を、サケ属魚類の生活史、種内間相互作用と環境収容力の生態学的階層構造から検討した結果、そのバイオマス変動は長期的気候変動とよくリンクしていることが分かった。

・サケ属魚類をキーストン種として亜寒帯水圏生態系の不確実性評価モデルを検討した。

(2011年度)

本研究の集大成として、(1)生態系ベースによる持続可能な資源管理として、キーストン種サケ属魚類の生活史モデルとモニタリング体制を含む順応的管理手法技術を確立した。(2)生態系リスク・マネジメントとして、亜寒帯水圏生態系モデルによるリスク管理手法技術も併せて確立した。(3)生態系ベースによる持続可能な資源管理と生態系リスク・マネジメントを包括し、亜寒帯水圏生態系のサステナビリティとリスクマネジメントに関するレジーム・ストラクチャを確立した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 30 件)

*括弧内は「(番目/員数)」を表す
(査読有)

1. Rand PS, Kaeriyama M. et al. (6/13) Ecological interactions between wild and hatchery salmonids and key recommendations for research and management actions in selected regions of the North Pacific. *Environ Biol Fish*, DOI 10.1007/s10641-012-9988-2. 2012.
2. Kudo H, Kaeriyama M. et al. (5/5) Cost-effective accurate estimates of adult chum salmon, *Oncorhynchus keta*, abundance in a Japanese river using a radio-controlled helicopter. *Fisheries Research* 119-120, DOI 10.1016/j.fishres.2011.12.010. 2012, 94-98.
3. Seo H, Kaeriyama M. et al. (4/4) Long-term variation in relative abundance and body size of Pacific salmon *Oncorhynchus* species. *Kor J Fish Aquat Sci* 44, 2012, 717-731.
4. Kaeriyama, M., Seo, H. et al. (1/4) Perspectives on wild and hatchery salmon interactions at sea, potential climate effects on Japanese chum salmon, and the need for sustainable salmon fishery management reform in Japan. *Environ. Biol. Fish.* DOI 10.1007/s10641-011-9930-s. 2011.
5. Nagata, M., Kaeriyama, M. et al. (9/9) An overview of salmon enhancement and the need to manage and monitor natural spawning in Hokkaido, Japan. *Environ Biol Fish* DOI, 10.1007/s10641-011-9882-3. 2011.
6. Kogura, Kaeriyama, M. et al. (6/6) The genetic population structure of lacustrine sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, in Japan as the endangered species. *Environ. Biol. Fish.* 92, DOI 10.1007/s10641-011-9876-1. 2011, 539-550.
7. Fukushima, M., Kaeriyama, M. et al. (4/4) Reconstructing Sakhalin taimen *Prahucho perryi* historical distribution and identifying causes for local extinctions. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, DOI 10.1080/00028487.2011.544999. 140, 2011 1-13.
8. Seo, H., Kaeriyama, M. et al. (3/3) Long-term climate-related changes in somatic growth and population dynamics of Hokkaido chum salmon. *Environmental Biology of Fishes* 90, DOI 10.1007/s10641-010-9725-7. 2011,

- 131-142.
9. 市村政樹・埴山雅秀ら. (5/5) 北海道東部根室海峡周辺で採集された「サケマス」のDNA分析による交雑判別. 日本水産学会誌 77, DOI 10.2331/suisan.77.834. 2011, 834-844.
 10. 横山雄哉・埴山雅秀ら. (6/6) 知床半島ルシヤ川におけるカラフトマス *Oncorhynchus gorbuscha* の産卵遡上動態評価. Nippon Suisan Gakkaishi, 76, DOI 10.2331/suisan.76.383. 2010, 383-391.
 11. Hao, Z., Kaeriyama, M. et al. (4/4) Development of the retina in the cuttlefish *Sepia esculenta*. Journal of Shellfish Research, 29, DOI 10.2983/035.029.0224. 2010, 463-470.
 12. Kishi, M.J., M. Kaeriyama, et al. (1&2/4) The effect of climate change on the growth of Japanese chum salmon (*Oncorhynchus keta*) using a bioenergetics model coupled with three-dimensional lower trophic ecosystem model (NEMURO). Deep Sea Research II, 57, DOI 10.1016/j.dsr2.2009.12.013. 2010, 1257-1265.
 13. Kaeriyama, M., H. Seo et al. (1/3) Trends in run size and carrying capacity of Pacific salmon in the North Pacific Ocean. NPAFC Bull., 5, 2009, 293-302.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.183.23&rep=rep1&type=pdf>
 14. Yokotani, R., Kaeriyama, M. et al. (5/5) Genetic differentiation between early- and late-run populations of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) naturally spawned in the Yurappu River inferred from mitochondrial DNA analysis. Fish Genetics and Breeding Science, 39, 2009, 9-16.
[http://www.hucc.hokudai.ac.jp/~a20066/teacher/\(1\)/\(4\).pdf](http://www.hucc.hokudai.ac.jp/~a20066/teacher/(1)/(4).pdf)
 15. Myers, K. W., Kaeriyama, M. et al. (5/5) High seas distribution, biology, and ecology of Arctic-Yukon-Kuskokwim salmon: Direct information from high seas tagging experiments, 1954-2006. Am. Fish. Soc. Symp. 70, 2009, 201-239.
[http://www.hucc.hokudai.ac.jp/~a20066/teacher/\(1\)/\(5\).pdf](http://www.hucc.hokudai.ac.jp/~a20066/teacher/(1)/(5).pdf)
 16. Drinkwater, K. F., Kaeriyama, M. et al. (3/9) On the processes linking climate to ecosystem changes. Journal of Marine Systems, 79, DOI 10.1016/j.jmarsys.2008.12.014. 2009, 374-388.
 17. Kudo, H., Kaeriyama, M. et al. (4/4) Molecular characterization and histochemical demonstration of salmon olfactory marker protein in the olfactory epithelium of lacustrine sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). Comparative biochemistry and physiology, Part A, 154, DOI 10.1016/j.cbpa.2009.05.123. 2009, 142-150.
 18. Kudo, H., Kaeriyama, M. et al. (4/4) Morphometry of olfactory lamellae and olfactory receptor neurons during the life history of chum salmon (*Oncorhynchus keta*). Chem. Senses 34, DOI 10.1093/chemse/bjp042. 2009, 617-624.
 19. Seo, H., Kaeriyama, M. et al. (3/3) Spatiotemporal change in growth of two populations of Asian chum salmon in relation to intraspecific interaction. Fish. Sci. 75, DOI 10.1007/s12562-009-0126-9. 2009, 957-966.
- (査読無し)
20. McKinnel SM, Curchitser E, Groot C, Kaeriyama M. and Myers KW. 2011. The decline of Fraser River sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Steller, 1743) in relation to marine ecology. PICES Advisory Report. Cohen Commission Tech. Rept. 4, 2011, 195p..
<http://www.cohencommission.ca/en/pdf/TR/Project4-Report.pdf>
 21. Kaeriyama, M. Climate and sustainable fisheries. Proceeding of International Symposium on Toward a Sustainable Low Carbon Society-Green New Deal and Global Change, 2010, 171-174.
- [学会発表] (計 32 件)
(招待講演・基調講演)
1. Kaeriyama, M. Global warming effect on life history and population dynamics of Japanese chum salmon. Symposium on Climate Change and Pacific Salmonids in the 141st Annual Meeting of American Fisheries Society. 2011/09/4-8, Seattle.
 2. Kaeriyama, M. Ecological interactions across habitats and life histories of Pacific salmon in the North Pacific. International Symposium on Ecological Interactions between Wild and

- Hatchery Salmon, 2010/05/4-7,
Portland.
(国際シンポジウム)
3. Kaeriyama, M., M. J. Kishi, et al. Carrying capacity and density-dependent processes of chum salmon, *Oncorhynchus keta*, in the ocean under conditions of a warming climate. International Workshop on Explanations for the High Abundance of Pink and Chum Salmon Future Trends, 2011/10/30-31, Nanaimo, Can.
 4. Kaeriyama, M., Seo, H., and Kishi, M.J. 2011. Sustainability and adaptive capacity of Pacific salmon under the changing climate. International Symposium on Integrated Coastal Zone Management. 2011/7/3-7, Arendal, Norway.
 5. Kaeriyama, M., Kishi, JM. et al. How to establish sustainable fisheries management under the changing climate: a case study of Pacific salmon. 22nd Pacific Science Congress. , 2011/6/14-17, Kuala Lumpur.
 6. Kaeriyama, M., Kishi, J.M. et al. Sustainable fisheries management of Pacific salmon under the warming climate. The 9th Asian Fisheries and Aquaculture Forum. 2011/4/24-26, Shanghai.
 7. Kaeriyama, M., et al. Spacio-temporal changes in the feeding pattern of Pacific salmon, *Oncorhynchus* spp., in the North Pacific Ocean ecosystems during 1958-2009. North Pacific Marine Science Organization PICE-2010, 2010/10/22-31, Portland.
 8. Kaeriyama, M., H. Seo, and M. J. Kishi. Sustainable fisheries management of Pacific salmon in a warming climate. International Symposium on Climate Change Effects on Fish and Fisheries, 2010/04/25-29, Sendai.
 9. Kaeriyama, M., M. J. Kishi, and H. Seo. 2010. Global warming and density-dependent effects on Hokkaido chum salmon. Symposium on Climate Change Effects on Fish and Fisheries. 2010/04/25-29, Sendai.
 10. Kaeriyama, M., H. Kudo, and H. Seo. 2009. Global warming effects on the early ocean life of Hokkaido chum salmon. North Pacific Marine Science Organization Eighteenth Annual Meeting. 2009/10/28, Jeju, Korea.
 11. Kaeriyama, M. Sustainability on seafood security and ocean ecosystem conservation. The First Workshop of the Japanese and

- Swedish Scientific Association, 2009/6/18, Sapporo.
12. Kaeriyama, M. 2009. Effect of the long-term climate on growth and survival of Japanese chum salmon in the Okhotsk Sea. The 3rd GLOBEC Open Science Meeting. 2009/5/23, Victoria.

[図書] (計3件)

1. Kaeriyama, M., Kishi, M.J., Saitoh, S., and Sakurai, Y. United Nations University Press, Designing our future: local perspectives on bioproductivity, ecosystems and humanity, 2011, 130-146.
2. 帰山雅秀. 朝倉書店, 野生動物保護の事典, 2010, 245-250.
3. 帰山雅秀. 北海道大学出版会, サケ学入門, 2009, 35-57.

[その他]

ホームページ等

<http://www.hucc.hokudai.ac.jp/~a20066/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

帰山 雅秀 (KAERIYAMA MASAHIDE)
北海道大学・大学院水産科学研究院・教授
研究者番号：80305937

(2) 研究分担者

齋藤 誠一 (SAITO SEI-ICHI)
北海道大学・大学院水産科学研究院・教授
研究者番号：70250503

岸 道郎 (KISHI MICHIO)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授
研究者番号：90214767