

話 題

第3回日米水産学会合同シンポジウム 「気候変動と太平洋サケ科魚類」

帰山雅秀

北海道大学大学院水産科学研究院

第141回アメリカ水産学会年次会議が2011年9月4～8日にシアトルのワシントン州 Convention Center (WCC) で開催された(図1)。参加者は4,300名を越え、口頭発表2,400以上、ポスター発表450以上と過去最大の規模となった。そのため、全体会議 Plenary session は WCC に入りきれないほどで、急遽近隣の映画館に舞台を移し挙行された(写真1)。年次会議途上開催された総会 Business meeting では、日本水産学会国際交流委員長の渡部終五氏(写真2)がこの度の東日本大震災に対するアメリカ水産学会の多大なる援助に感謝の言葉を述べるとともに、感謝状を贈呈し、万雷の拍手を受けた。

さて、本年次会議で開催されたシンポジウムは95に達し、その他 Contributed Paper Session は38に及んだ。口頭発表があまりにも多いため、発表時間は基調講演を除き一律15分に制限された。この発表時間はきわめて厳格であり、発表が15分をオーバーすると即刻マイクを取り上げられる。もちろん質問時間は与えられない。発表者は概ね発表12分以内に終了し、質疑応答に3分ほど割いていた。しかし、われわれのシンポジウムでも時間を守れず途中で発表を中止させられた発表者がいた。全てのシンポジウムは早朝8時開始であるが、最初の発表者にその分野のキーパーソンを当てていた。そのせいか、早朝から参加者はきわめて多く、積極的なディスカッションが行われていた。これは常時参加者に関心を維持させる効果として、日本水産学会でも参考に値する方法ではないかと感じた。

第3回日米水産学会共同シンポジウム“Climate Change and Pacific Salmonids”(気候変動と太平洋サケ科魚類)は9月7日～8日の1日半をかけて、本年次会議としては異例の長さで開催された。日本側からは筆者が moderator として、棟方有宗氏(宮城教育大)、浦和茂彦氏(北水研)、木下滋晴氏(東大院農)および筆者の4名が口頭発表を行った。本シンポジウムの開催主旨は、「気候変動が海洋と淡水の水温を変え、サケ科魚類に様々な結果をもたらすことが予測されている。シンポジウムではこれらの予測される変化を明らかにするとともに、変化した水溫レジームへのサケ科魚類の生理学的応答、水溫と回遊、生活史変異と気候ドライバーとの関係などを検討する。われわれは、変化する気候に対



American Fisheries Society 141st Annual Meeting

Washington State Convention Center in Seattle, WA
September 4-8, 2011

図1 第141回アメリカ水産学会年次会議ロゴ



写真1 アメリカ水産学会の会場となった Convention Center (上) と映画館で開催された Plenary session (下)



写真2 総会で挨拶する渡部終五

する応答を、気候変動適応への潜在性、世代交差効果、さらには群集およびランドスケープにまでレベルアップして考え、最終的には潜在的なレジームシフトと不確かな気候の管理について論議する」ことである。発表数は42演題に及んだ(表1)。参加者は最高時で150名を越えており、本シンポジウムはきわめて高い関心を集めた。

日本からの講演内容は次のとおりである。浦和茂彦氏(写真3)は、「冬期に北太平洋とベーリング海でトロ-

表1 第3回日米水産学会合同シンポジウム「気候変動と太平洋サケ科魚類」プログラム

Venue : 4C-2 in the Washington State Convention Center (Seattle)
 Sponsored By: USGS National Climate Change and Wildlife Science Center; Japanese Society of Fisheries Science; USFS PNW Research Station; NOAA Northwest Fisheries Science Center
 Organizers : E. Ashley Steel, Tim Beechie, T. Douglas Beard Jr., Lisa Crozier, Brian J. Burke, Scott G. Hinch, Sarah Boon and James Byrne
 Moderators : James Byrne, Sarah Boon, T. Douglas Beard Jr., Lisa Crozier, Brian Burke, Masahide Kaeriyama, Ashley Steel, Tim Beechie, Scott Hinch, and Sarah Boon

No	Presenter	Title
Part 1	<i>Wednesday, September 7, 2011: 8:00 AM-5:15 PM</i>	
1	Kate Myers (Univ. Washington)	Scenarios for Climate Change Impacts on Thermal High Seas Habitats of Pacific Salmon in the North Pacific Ocean and Adjacent Seas
2	Ryan MacDonald (Univ. Lethbridge)	Applying Reach Scale Data to Model Stream Temperature at the Watershed Scale
3	Ivan Arismendi (Oregon State Univ.)	Are Multi-Decadal Stream Temperature Trends for Least-Disturbed Watersheds of Western North America in Accordance with a Recent Warming Climate?
4	Dan Moore (Univ. British Columbia)	Climate Change, Forest Management, Stream Temperature and Salmonids
5	Gordon Reeves (US Forest Service)	The Changing Landscape of the Copper River Delta, Alaska: Implications for Understanding Climate Change
6	Jennifer R. Griffiths (Univ. Washington)	An Assessment of 50 Years of Climate Warming on Growth of Juvenile Sockeye Salmon from the Alaska Peninsula
7	Daniel Isaak, US Forest Service	Regional Efforts to Monitor and Model Stream Temperature Patterns Associated with Climate Change Across the Northwest US
8	E. Ashley Steel (US Forest Service)	Experiments on Altered Thermal Regimes During Early Life Stages of Chinook Salmon
9	Brian Beckman (NOAA Fisheries)	Emergence Timing and Life History in Chinook Salmon
10	Arimune Munakata (Miygagi Edu. Univ.)	Effects of Minute Water Temperature Changes on Downstream Movement and Migratory Behavior in Pacific Salmon
11	Adrienne Roumasset (Univ. Idaho)	Effects of Watershed Characteristics, Stream Temperature, Condition, and Disease on Prespawn Survival in Upper Willamette River Chinook Salmon
12	Ryan Mann (Univ. Idaho)	An Approach to Estimating the Effects of High Temperature Exposure During Maternal Upstream Migration on Embryo Development and Survival in Chinook
13	Joshua Strange (Yurok Tribe)	Upper Thermal Limits to Migration in Adult Chinook Salmon: Evidence from the Klamath River Basin
14	Matthew Keefer (Univ. Idaho)	Adult Pacific Salmonids in Hot Water: Behavior and Survival Studies from the Columbia River Basin
15	Eduardo Martins (Univ. British Columbia)	Effects of River Temperature on Stock-and Sex-Specific Survival of Adult Migrating Fraser River Sockeye Salmon
16	Michelle Rub (NOAA Fisheries)	Survival and Movement of Adult Spring/Summer Chinook Salmon Through the Columbia River Estuary and Lower River
17	David Geist (Pacific Northwest National Lab.)	Adult Salmon Bioenergetics: The Cost of Migrating Upstream Through the Columbia River Hydropower System
18	Steve Corbett (NOAA Fisheries)	Holding and Pre-Spawning Behavior of Adult Spring Chinook Salmon in the Upper Yakima River; Insights from Radio-Telemetry
19	Bryan Neff (Univ. Western Ontario)	Egg Consumption in Mature Pacific Salmon: Consequences for Energetic Models and Fitness in Changing Environments
20	Theodore Castro-Santos (US Geological Survey)	Modeling Migratory Energetics of Connecticut River American Shad
21	Lisa Crozier (NOAA Fisheries)	Seasonal Variation in the Bioenergetic Cost of Migration in Snake River Spring/Summer Chinook Salmon and Potential Selection for Earlier Migration in Response to Climate Change

表 1 Continued.

No	Presenter	Title
22	S. Matthew Drenner (Univ. British Columbia)	Linking High and Variable Ocean Temperature Exposure to Coastal Migration Behaviour and Bioenergetics During Homeward Migration of Adult Sockeye Salmon
23	Cyril J. Michel (NOAA Fisheries)	Which Way Home? Route Selection and Movement of Returning California Central Valley Adult Chinook Salmon near Their Upper Thermal Limit
24	Clint C. Muhlfeld (US Geological Survey)	Potential Impacts of Climate Warming on Aquatic Ecosystems in the Northern Rockies: Implications for Native Species Conservation
25	David J. Lawrence (Univ. Washington)	Hot on the Heels of Chinook Salmon: Climate Change and Smallmouth Bass Invasions in Salmon Rearing Habitat
26	Shigehiko Urawa (Hokkaido Nat. Fish. Res. Inst.)	Winter Distribution and Trophic Status of Pacific Salmon in the North Pacific Ocean Under Changing Climate
27	Masahide Kaeriyama (Hokkaido Univ.)	Global Warming Effect on Life History and Population Dynamics of Japanese Chum Salmon
28	Lauren Rogers (Univ. Washington)	Interdecadal and Centennial Variability in Pacific Salmon Abundance Over 500 Years
Part 2	<i>Thursday, September 8, 2011: 8:00 AM–12:00 PM</i>	
29	Robin Waples N (OAA Fisheries)	Capacity of Adaptive Responses by Salmon to Buffer Effects of Climate Change
30	John Kimball (Univ. Montana)	Vulnerability of Salmon to Climate Change in Rivers of the North Pacific Rim
31	Alisa Wade (National Center for Ecological Analysis and Synthesis)	Comparing Models of Estimated Range Shifts in Pacific Salmon
32	Kristi Miller (Fisheries and Oceans Canada)	Genomic Profiles of Ocean Migrating Salmon Can Predict Fate to Spawning Grounds
33	Christine Petersen (NCEAS–UC Santa Barbara)	Assessing Patterns of Resilience to Climate Change for Early–Run Chinook Across Latitudes
34	David A. Patterson (Fisheries and Oceans Canada)	From Individual–Based Research on Linking Maternal Experience to Maternal Condition to Offspring Performance/Fitness to Implications for Cross–Generational Population Dynamics
35	Erika Eliason (Univ. British Columbia)	Differences in Cardiorespiratory Performance and Thermal Tolerance among Sockeye Salmon Populations: Potential for Adaptation to Climate Change?
36	Shigeharu Kinoshita (Univ. Tokyo)	Increased Thermal Tolerance of Rainbow Trout by Selective Breeding at High Temperatures
37	Tim Beechie (NOAA Fisheries)	Restoring Salmon in a Changing Climate
38	Randall M. Peterman (Simon Fraser Univ.)	Uncertainties in Projections of Future Effects of Climate on Salmon
39	David Boughton (NOAA Fisheries)	Options for Steelhead Recovery in an Uncertain Future Climate: A Case Study of the Pajaro River, California
40	Lisa C. Thompson (Univ. California, Davis)	Climate Change Predictions and Management Options from Coupled Watershed and Population Dynamics Models: The Example of Spring–Run Chinook Salmon in California
41	Tommi Linnansaari (Univ. New Brunswick)	Biological Significance of Thermal Refugia for Juvenile Atlantic Salmon in a Changing Climate
42	Kathleen Matthews (USDA Forest Service)	California Golden Trout and Climate Change: Will Their Stream Habitat be Resilient to Increased Water Temperatures?

ル調査を行い、サケとカラフトマスの分布と栄養状況を調べ、温暖化の影響を推測した。冬期にカラフトマスとサケ若齢魚は北西太平洋に多く分布するが、それよりも高齢のサケは主にアラスカ湾に分布する。冬期の平均生

息水温は年間変動が少ないが、北西太平洋では 4°C 前後なのに対し、アラスカ湾では 6°C と高い。アラスカ湾のサケとカラフトマス筋肉の脂質量は北西太平洋のサンプルより有意に低く、比較的高い生息水温が原因と推定さ



写真3 浦和茂彦



写真5 木下滋晴



写真4 棟方有宗



写真6 筆者

れた。サケ若齢魚の脂質量は高齢魚よりも著しく低く、最初の越冬期の厳しい状況が示唆された。将来の水温上昇により、サケの冬期生息場所は、アラスカ湾で減少し、北西太平洋では増加し、ベーリング海にまで広がると推定された。気候変動が引き起こす水温変化は越冬期のサケ属魚類の分布、生息密度、栄養状況や生残に影響し、その程度は地域により異なること」を明らかにした。

棟方有宗氏(写真4)は、「ギンザケ、マスノスケ、スチールヘッドトラウトとサクラマス为例に、サケ属にとって降海回遊が環境ストレスによって誘起される行動であること、春季の水温上昇時、融雪水や降雨などに起因する瞬時のわずかな水温低下(1°C以下)が、降河行動の引き金になること、ストレスとしてコルチゾルが関与していることを実験結果から明らかにした。これらのことから、サケ属では春に起こる水温の変動がコルチゾルの上昇を介して降河回遊を引き起こす重要な環境要因になっていること、気候変動によって河川水温の変動周期がずれることによって、サケ属の川から海への降河回遊の発現タイミングがずれてしまう可能性があること」を報告した。

木下滋晴氏(写真5)は、「宮崎県水産試験場で行われた高温選抜育種により得られた高温耐性ニジマスの生物学的特性を報告した。胚における遺伝子発現パターンを高温選抜系と通常のニジマス間で比較した結果、(1)ミ

トコンドリア電子伝達系の呼吸反応を担う複合体IVのシトクロム*c*オキシダーゼのサブユニットの一つ*COX II*が特異的な発現パターンを示し、胚および未受精卵の相対的*COX II* mRNA レベルは高温選抜系の方が標準系より1.8倍高いこと、(2)ミトコンドリアゲノムにコードされているATPase6-8遺伝子のmRNA蓄積量も、高温選抜系の胚では標準系より2.1倍高いこと、一方、(3)核ゲノムにコードされたATP合成酵素β-サブユニットmRNA蓄積量は系統間で差が認められないことなどが分かった。したがって、高温選抜系ニジマスはミトコンドリアにおけるATP供給能に優れている可能性があること」を紹介した。

筆者(写真6)は、「シロザケへの温暖化の影響に関する現状および将来予測を紹介した。現在、温暖化は日本系シロザケに対して海洋生活1年目夏季・秋季の成長にプラスの影響を及ぼし、それが結果的に生残率および個体群サイズの増加につながっている一方で、早秋季の産卵回遊時には高温のため一部早期群で回帰障害を受けていること。気候変動を含む環境耐性に対する適応度は、野生魚の方が孵化場魚に比べて高いことを明らかにした。その上で、今後の温暖化がシロザケの北太平洋における分布に及ぼす影響を予測した。

本シンポジウムにおいてその他興味深い発表としては次のようなものが挙げられる。なお、ここでは発表者名

のみをあげ、共同研究者名は省略してある。Kate Myers氏（ワシントン大学）は、「IPCCのA1Bシナリオと地球気候モデルGCMにより、サケ属5種に及ぼす地球温暖化の影響を予測した。2100年までに夏季の生息場は、マスノスケが86%、ベニザケが45%、スチールヘッドトラウトが36%、ギンザケが30%、カラフトマスが29%、そしてシロザケが29%減少するであろう」と述べていた。David Geist氏（Pacific Northwest National Laboratory）は、「マスノスケがコロンビア川ダム群を通過するのに必要なエネルギーを、筋電図送信機EMGによる追跡結果と臨界遊泳速度からBioenergetics Modelにより48 kcal/kgと推定し、温暖化によりエネルギー消費過多によりダム群の通過が困難になること」を予測した。Brian Neff氏（西オンタリオ大学）は、「サケ属魚類は河川産卵回遊時に絶食すると考えられているが、実際には同属の卵を14個/日喰っており、このエネルギーが回遊および産卵行動に役立っている。しかし、温暖化はサケ属魚類の回遊タイミングと産卵場での摂餌生態学に潜在的な影響を及ぼすであろう」と述べている。Lauren Rogers氏（ワシントン大学）は、「アラスカのベニザケ生育湖沼における500年間の堆積物コアサンプルから窒素安定同位体比を測定した。その結果、ベニザケ生産力は気候変動とはリンクせず、19世紀以降漁業の開始とともに時系列的に減少していること」を明らかにした。Robin Waples氏（NOAA）は、「進化と表現型可塑性に基づく個体レベルの生態進化モデル（eco-evolutionary model）を開発し、気候変動に対するサケ類の適応を評価した。その結果、サケ類は気候変動下で適応的表現型可塑性が妥当であれば、回遊タイミングを速やかに変化し得るが、他個体群からの移入により不適応な個体群も増加するであろう」と述べてい

る。John Kimball氏（モンタナ大学）は、「IPCC GCMsとVICモデルを用いて環北太平洋1500河川における流量と水温の将来予測を行った結果、気候変動に対するサケ属魚類の脆弱性はスキーナ川より南方域で著しく、再生産拠点は北方へ移動せざるを得ないこと、カムチャツカとアラスカ西部ではインパクトが比較的少ないことが予測された。また、アラスカの北斜面の河川では、現在持続可能性は低いが、将来の気候レジームでは重要な河川となるであろう」と予測した。

本シンポジウム全体の特徴として、①発表テーマの大半は河川湖沼生活期のサケ科魚類に関するもので、海洋生活期あるいは長期的な気候変動と海洋環境に関する発表は5報（12%）に過ぎなかったこと、②モデル研究の発表が多いが、その中でもBioenergetic Modelに関係した発表が多かったこと、そして③温暖化モデルには、IPCCのA1Bシナリオが数多く利用されていたことが挙げられる。本シンポジウムは、同様のシンポジウム（例えば、「Connecting Climate Science to Fisheries Management and Ecology in a Changing World」）に比べても会場の広さ、参加者数および開催時間の長さなどから高い関心と評価を受けたことは間違いない。しかし、気候変動に対するサケ科魚類の具体的な応答に関する客観的なエビデンスは、モデル、仮説やコンセプトの多さに比べ、数少なかつたように思う。アメリカ水産学会における気候変動、特に温暖化に関する生物への影響に関するシンポジウムはまだ途についたばかりとの印象を受けた。しかし、参加者数の多さと関心の高さにみられるように、このテーマのシンポジウムは今後益々盛んになり、本年次会議の中心テーマとなっていくことは容易に予測される。