

ニジマス卵生産に対する温暖化の影響

山本聡・小川滋・川之辺素一・近藤博文・

新海孝昌・横山隆雄・山崎正幸

Impact of warming on environments for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* eyed eggs production

Satoshi Yamamoto, Sigeru Ogawa, Motokazu Kawanobe, Hirofumi Kondo, Takamasa Shinkai,

Takao Yokoyama, Masayuki Yamazaki

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) は、第 5 次評価報告書の統合報告書の中で「気候システムの温暖化は疑う余地がなく、また 1950 年代以降、観測された変化の多くは数十年から数千年間にわたり前例のないものである。」としており、地球温暖化の進行は明白であると断定している¹⁾。国内でも温暖化の影響は多くの産業分野で見られ、特に環境への依存度が大きい農業では水稲²⁾、リンゴ³⁻⁵⁾など多くの作物で、その影響が報じられている⁶⁾。

国内では比較的寒冷地である長野県でも、農業分野では温暖化の影響が生じている^{7,8)}。水産業に目を向けると、漁業、養殖業の重要種であるサケ科魚類は冷水性であるため温暖化の影響が特に懸念される。河川漁業に関してはイワナの分布範囲が狭まることが予測され注意喚起がなされている⁹⁻¹¹⁾が、養殖業について温暖化の影響について予測あるいは実態を報告する例を知らない。ニジマスでは親魚の飼育水温¹²⁾、洗卵保存に用いる等調液の温度¹³⁾が高くなると発眼率が低下することが知られており、温暖化によって養殖業の根幹であるニジマスの種苗生産に悪影響が生じることが懸念されるが実態は明らかではない。

長野県水産試験場 (以下、長野水試) では毎年 100 万粒程度のニジマス全雌三倍体卵を生産しているが、2013 年 10 月の採卵群において発眼率が極めて低い事例があった。長野地方気象台¹⁴⁾によると、この年の 10 月の月平均気温は特に高く、「長野県内の観測所 30 地点で 10 月の平均気温の高い方からの極値を更新した」としている。発眼率が低かった原因として、採卵作業において卵がおかれていた環境温度が高かったことが関係したのではないかと予想し、過去の卵生産業務における環境温度と発眼率の関係を検証した。その結果、温暖化の影響を示唆する知見を得たので報告するとともに、今後の適応策について論議する。

材料と方法

長野水試 (N36°35'3", E137°92'5") での、ニジマス全雌三倍体卵の生産作業は次の手順で行われる。カッコ内

には卵がおかれる環境温度、又はそれに影響する環境温度を記した。

- ① 親魚の排卵・熟度鑑別 (飼育水温)
- ↓
- ② 搾出法で採卵 (飼育水温)
- ↓
- ③ 体腔液内での保存 (気温)
- ↓
- ④ 等調液で洗卵 (気温)
- ↓
- ⑤ 等調液内で保存 (気温)
- ↓
- ⑥ 等調液内で媒精 (気温)
- ↓
- ⑦ ヨード剤消毒 (気温)
- ↓
- ⑧ ふ化用水で吸水開始 (地下水温)
- ↓
- ⑨ 加温処理 (12°C で 10 分吸水後、26~27°C で 15 分)
- ↓
- ⑩ ふ化槽に収容 (地下水温)
- ↓
- ⑪ 発眼まで管理 (地下水温)

例年、採卵は 9 月下旬から 12 月上旬に行われる。①から②にかけての親魚の飼育水は、約 2km 上流で湧出した湧水であり、地表を流下する区間があるため気温の影響を受けて水温が変動する。③の保存時間は 1 時間を超えることがあり、気温の影響を受ける。④から⑦にかけて用いる等調液は、水道水を使って作っており気温の影響を受ける。なお、各作業段階での等調液の温度は記録がされていない。⑥で用いる精液は運動性を検鏡にて確認し、採精後は受精まで保冷されており気温変化による影響は受けない。⑧から⑩で用いられる地下水は、水温が 12°C と一定であり、⑨の加温処理も温度管理下において気温の影響を受けないので、⑧以降は今回の検証の対象としなかった。

この作業手順と先行研究^{12,13)}を参考に、解析の対象として以下の3区分の温度に注目した。

1. 排卵時の飼育水温: 作業手順の①における環境温度として
2. 採卵日の飼育水温: 作業手順の②における環境温度として
3. 採卵日の気温: 作業手順の③~⑦における環境温度として

1. 2. の飼育水温は温度ロガー(おんどとり TR5i シリーズ: 株式会社ティアンドディ)により1時間毎に計測したデータを用いた。1. 排卵日の飼育水温は、熟度鑑別の頻度が週1回なので、採卵前の7日間での日最高飼育水温で代表させた。2. 採卵日の飼育水温は採卵日における日最高飼育水温で代表させた。3. 採卵日の気温は、長野水試に最も近いアメダス観測所「穂高」(N36°20'6"、E137°52'9")における採卵日の最高気温で代表させた。これらの環境温度と、2003年から2013年までの11年間でニジマス全雌三倍体生産において発眼率が記録されている84の事例について関係を検証した。各年の親魚は長野水試で継代飼育している同一系統であるが、採卵時の年齢は2+から4+までと統一されていない。なお、温暖化の影響を検討するのであれば、加温処理を行わない普通卵で検討することが望ましいが、長野水試では事業規模での普通卵の生産事例が少なく、検証に足だけの例数がないので、全雌三倍体の発眼率を対象とした。

結果

2003年から2013年までの、長野水試のニジマス親魚飼育水の採卵期における日最高水温の季節変化を図1に示した。採卵期の当初である9月下旬から10月上旬は、

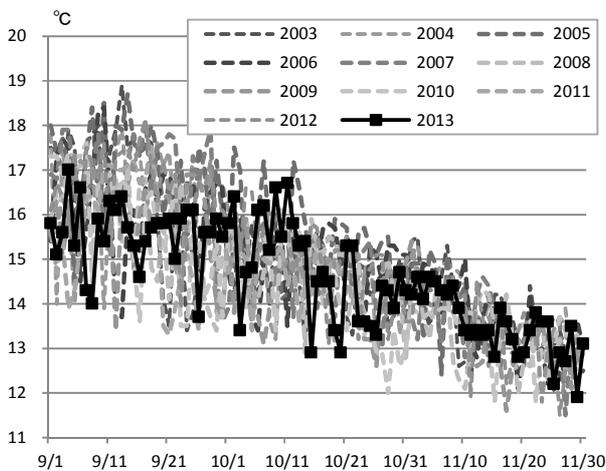


図1 長野水試のニジマス親魚飼育水の採卵期における日最高水温の季節変化

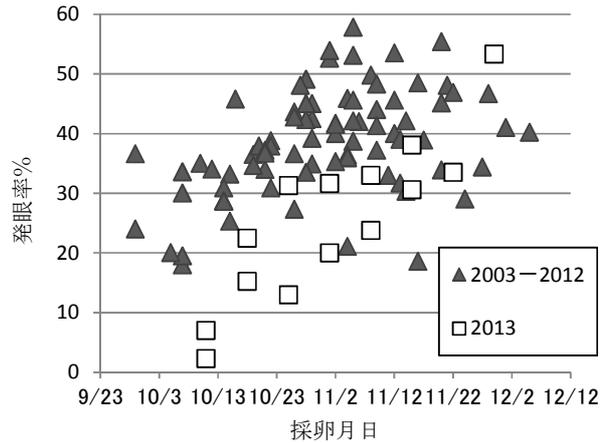


図2 長野水試飼育ニジマス卵から作出した全雌三倍体卵の採卵日毎の発眼率(2003~2013年)

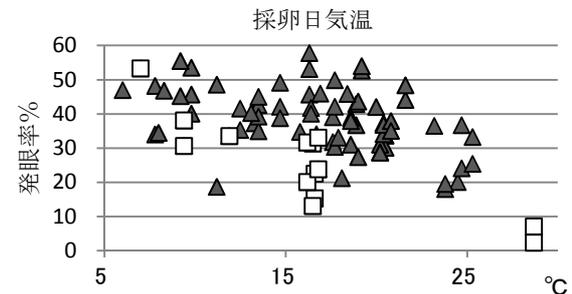
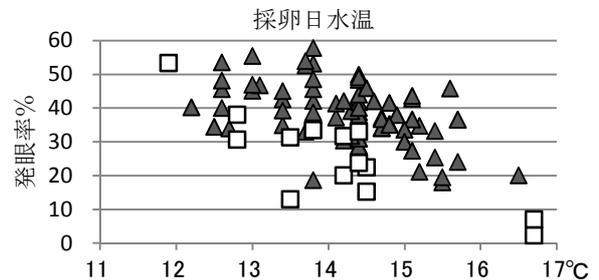
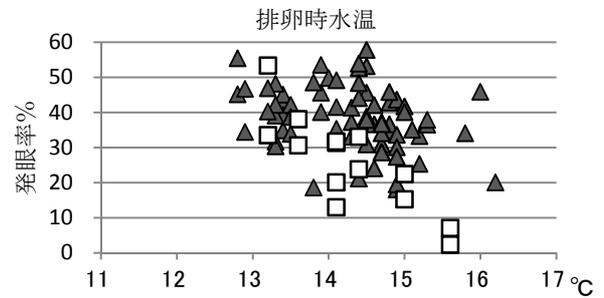


図3 排卵時の最高水温、採卵日の最高水温、採卵日の最高気温とニジマス全雌三倍体卵の発眼率。凡例は図2参照。

最高水温が低い日で13°C、高い日は17°C以上であった。採卵期の終期である11月下旬から12月では最高水温は14°C以下となり12°C未満となる日もあった。

2003年から2013年までの全雌三倍体卵の採卵日と発眼率の関係を図2に示した。2003年から2012年間で

は9月下旬から10月上旬の発眼率は30%前後であるのに対し2013年10月13日採卵群の発眼率は2.3%と7.0%であり、この10年間の中で突出して低かった。

排卵時の飼育水温、採卵日の飼育水温、採卵日の気温とニジマス全雌三倍体卵の発眼率の関係を図3に示した。検証した3区分の環境温度は全て発眼率と負の相関が認められた(スピアマンの順位相関)。

- 排卵時の水温： $r_s = -0.36$, $t = 3.50$, $df = 82$, $p < 0.01$
- 採卵日の水温： $r_s = -0.44$, $t = 4.38$, $df = 82$, $p < 0.01$
- 採卵日の気温： $r_s = -0.40$, $t = 3.90$, $df = 82$, $p < 0.01$

発眼率の低かった2013年10月13日のそれぞれの値は、排卵時の水温が15.6℃、採卵日の水温が16.7℃、採卵日の気温が28.7℃であった。採卵日の水温と気温は、それぞれ11年間での最高値であった。

考 察

今回の検証は、卵生産業務において記録されたデータに基づくものであり、親魚の年齢、体重、採卵数、従事者などの諸条件が統一されていない。しかし、同じ飼育施設、系統群における11年分の長期に渡るデータによる検証であり、事例数も多いので実態を反映していると考ええる。

2013年の発眼率について、10月13日採卵群における値は低いが、採卵期が進むにつれ発眼率は30~50%と例年並みになった(図2)。同一親魚群から得られた卵において発眼率が向上しているの、10月13日採卵の発眼率が低かった原因として、この年の親魚群がおかれた水質、飼料などの飼育環境に問題があつて卵質が悪かったとは考えがたい。採卵作業も期間途中での変更はないので、問題があつたとは考えがたい。さらに作業従事者も同一であり技量の習熟度の差も考えがたい。

今回検証した三区分の環境温度、排卵時の水温、採卵日の水温、採卵日の気温はいずれも高くなるとニジマス卵の発眼率が低くなる傾向があつた。ニジマス親魚の飼育水温について野村¹²⁾は、「16℃~17℃以上になると採卵ができず、又採れても受精率、発眼率ともゼロに近い」と論じている。本研究での2013年10月13日採卵群の飼育水温は、野村¹²⁾が限界としている数値とほぼ同じであつた。また、松島¹³⁾はニジマスの発眼率は等調液浸漬時間の経過とともに低下し、その傾向は浸漬温度が高い(15~18℃)ほど大きいと考察している。2013年10月13日に使用した等調液は冷却していなかったため、最高28.7℃となった気温の影響を受け、松島¹³⁾が高いと指摘した温度よりもさらに高かった可能性がある。以上のことから2013年10月採卵のニジマス卵の成績が悪かつたことは、環境温度の高温化が主な原因であつたと考える。

地球温暖化は今後最大限の緩和策を実施しえたとしても、これまで人為的に排出され、今後も排出される温室効果ガスによる気候変動とその影響は避けられないとされている⁷⁾。長野県では秋の高温化が特に進んでいることが報告されており¹⁵⁾、2013年のような年が今後は増加すると予想せざるを得ない。今後もニジマス卵生産を続けていくためには、適応策を講じる必要がある。今回、検証した3区分の環境温度は、実態としてはそれぞれが独立した事象ではなく強く関連性がある。今回の検証だけでは、どの環境温度が最も強く作用したかは不明である。このため現状ではこの3区分の環境温度の全てについて対策が必要となる。

本研究でとりあげた長野水試での卵生産作業を例に対策を考えてみる。採卵日の気温の影響については、等調液の冷却、卵の保冷などにより、適応は比較的容易である。一方、飼育水温については、流水式飼育であるので、飼育水の温度を制御することは技術的、コスト的に極めて困難である。この飼育水は10月下旬以降には卵生産にとって安全な水温となるので(図1)、何らかの方法で産卵期を遅らせることが適切と考える。短期的には電照による日長調節で産卵期を遅らせる方法がある。ランニングコストの低さからはLEDの利用が有利であるが、サケ科魚類の成熟がLEDの波長で制御できるかは未検証であり、今後の確認が必要である。中長期的には、育種による方法がある。サケ科魚類の産卵期は遺伝的支配が強いことが知られているので、個体選抜による産卵期の遅延化が期待できる。

長野県以外でも、東京都においてヤマメの卵生産業務に温暖化の影響が生じているという情報があり(辻私信)、他の地域、魚種でも問題が起きている可能性がある。卵生産は内水面のサケ科魚類養殖を支える重要な分野である。今後は影響の実態を把握し、適応策についての研究、技術普及を講じていく必要がある。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり長野県農業試験場企画経営部長の中山武幸氏からは農作物の高温被害とその適応策について情報をいただいた。長野県環境保全研究所自然環境部の田中博春氏、北野聡氏からは長野県の温暖化の実態と適応対策の現状について情報をいただいた。皆様に感謝いたします。

要 約

1. ニジマス卵生産についての温暖化の影響を知るために、作業において卵がおかれている環境温度と発眼率の関係を検証した。
2. 環境温度として、排卵時の飼育水温、採卵日の飼

育水温、採卵日の気温を検証の対象とした。

3. 全ての環境温度について発眼率と負の相関関係があり、温度が高くなると発眼率が低下する傾向が認められた。
4. 温暖化は避けられないとの見解に基づき、これら環境温度についての適応として、作業手法での対応、採卵期の調節手法について論議した。

文 献

- 1) 文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省 (2014) : 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 5 次評価報告書統合報告書の公表について. 1-14.
- 2) 森田敏 (2005) : 水稻の登熟期の高温によって発生する白未熟粒、充実不足および粒重低下. 農業技術 60 : 442-446.
- 3) 杉浦俊彦 (2006) : 地球温暖化が果樹栽培に与える影響の現状と対策. 農業技術 61 : 107-112.
- 4) 杉浦俊彦・横沢正幸 (2004) : 平均気温の変動から推定したリンゴおよびウンシュウミカンの栽培環境に対する地球温暖化の影響. 園芸学雑誌 73 (1) : 72-78.
- 5) Sugiura T., Ogawa H., Fukuda N., Moriguchi T. (2013): Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change. Scientific Reports 3, 2418:1-7.
- 6) 杉浦俊彦・住田弘一・横山繁樹・小野洋 (2006) : 農業に対する温暖化の影響の現状に関する調査. 農研機構研究調査室小論集 7:1-66.
- 7) 長野県環境保全研究所 (2012) : 長野県における適応策立案手法開発のための検討報告書.
- 8) 田中博春 (2013) : 温暖化フォーラム(石川) 報告「温暖化適応策と農業現場での適応行動」. 農業と気象 13,B,1-14
- 9) Nakano S., Kitano F., Maekawa K.(1996): Potential and loss of thermal habitats for charrs in the Japanese archipelago due to climatic warming. Freshwater Biology, 36:711-722.
- 10) 北野聡 (2001) : 温暖化によって千曲川上流域のイワナ生息地点はどうなるか. 長野県自然保護研究所 紀要 4 : 335-342.
- 11) 北野聡 (2012) : 千曲川上流域における魚類の生息状況－夏期水温と関連して. 長野県環境保全研研報 8 : 49-53.
- 12) 野村稔 (1967) : ニジマス的人工採卵について. 全国湖沼河川養殖研究会 第 24 回養鱒部会要録:41-47.
- 13) 松島又十郎・幡谷雅之・花田博・鈴木克宏 (1977) : 未吸水、受精卵のヨード剤消毒試験. 昭和 51 年度静岡県富士養鱒場事業報告 : 35-37.
- 14) 長野地方気象台 (2013) : 長野県の気象・地震概況 63 (10) : 1-47.
- 15) 田中博春 (2013) : 気候変動はすでに進行している. 気候変動に適応する社会 (田中充・白井信雄 編), 技報堂出版, 東京, pp8-12.
- 16) Shiraishi Y., Fukuda Y. (1966): The relation between the day length and the maturation in four species of salmonid fish. Bul. Freshwater Fish. Res.Lab., 16(2):103-111.
- 17) 鈴木亮 (1979) : 魚類. 水産生物の遺伝と育種 (日本水産学会 編), 恒星社厚生閣, 東京, pp114-135.