

報告 (Report)

渇水時の溪流におけるイワナおよびアマゴの干出事例

岸 大弼¹⁾・大原健一²⁾・辻 寛人²⁾・徳原哲也³⁾

Effects of desiccation on stream-dwelling salmonids in a drought year in a small stream in Gifu, central Japan

Daisuke KISHI, Kenichi OHARA, Hirohito TSUJI, Tetsuya TOKUHARA

摘 要

2014年に木曽川水系の坂本谷（岐阜県下呂市馬瀬）において、渇水時の流路の干出状況とイワナ *Salvelinus leucomaenis* およびアマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae* の生残状況を調査した。本研究では、上流端が滝および下流端が堰堤で区切られた100 mの調査区間を設定し、標識したイワナ20個体およびアマゴ80個体の生残状況を調査した。調査を実施した2014年6月の月降水量は117.0 mmで、平年値の4割以下という観測史上最少記録となった。調査当初の6月9日までは調査区間内に100 mの流路が存在していたが、10日以降、下流側から流路の縮小が進行し、最大で50 m近くが干出した。調査の結果、イワナの5.0%およびアマゴの8.8%が干出により死亡あるいは致死的な状態を経験していることが確認された。また、調査終了時の標識個体の残存数はイワナが3個体およびアマゴが52個体と推定された。調査期間中に減少したイワナ17個体のうち5.9%およびアマゴ28個体のうち7.1%は、干出が死因であることが示唆された。湿潤な気候帯に位置する日本では、これまで主に増水の影響が調査されてきた一方、渇水の影響についてはあまり注目されてこなかった。しかし、本研究により、干出による魚類の死亡が国内の溪流においても発生することが確認された。

キーワード：溪流魚，流量，堰堤，環境改変

Key words: stream-dwelling salmonids, discharge, low-head dam, habitat degradation

(2020年4月22日受付；2020年6月3日受理)

はじめに

溪流における流量の変動すなわち増水あるいは渇水は、魚類の生息を規定する重要な要因である。増水あるいは渇水は、周期性を有する季節的なものとそれ以外の不規則的なものと大別される。季節的なものとしては、熱帯の溪流における雨季の増水、地中海性気候帯の溪流における乾季の渇水といった例があり、それらに対する魚類の応答が多数報告されている (Magoulick and Kobza, 2003 ; Lytle and Poff, 2004 ; Lennox

et al., 2019)。一方、不規則的な増水あるいは渇水は、季節的なものよりも規模が大きい場合があり、魚類に深刻な影響を及ぼす現象として注目されている (例えば, Kano *et al.*, 2011 ; VerWey *et al.*, 2018)。しかし、そうした大規模な増水あるいは渇水は、発生時期を正確に予見することが困難であるため、一般に長期間の調査が必要とされる (Lake, 2003)。このような背景から、大規模な増水あるいは渇水が魚類に及ぼす影響については、現在もなお、知見を蓄積する段階にあるといえる。

¹⁾ 〒509-2592 岐阜県下呂市萩原町羽根2605-1 岐阜県水産研究所下呂支所 (E-mail: kishi-daisuke@pref.gifu.lg.jp) Gero Branch, Gifu Prefectural Research Institute for Fisheries and Aquatic Environments, 2605-1, Hane, Hagiwara, Gero, Gifu, 509-2592 Japan

²⁾ 〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地 岐阜県水産研究所 Gifu Prefectural Research Institute for Fisheries and Aquatic Environments, Kawashimakasada, Kakamigahara, Gifu, 501-6021 Japan

³⁾ 〒500-8570 岐阜市藪田南2-1-1 岐阜県農政部里川振興課 Fisheries Division of Agriculture Department, Gifu Prefectural Government, 2-1-1 Yabutaminami, Gifu, 500-8570 Japan

大規模な増水あるいは渇水が魚類に及ぼす影響は、偶発的に観察される場合もある。Hakala and Hartman (2004) は、別の目的での調査中に渇水に遭遇し、魚類の生息密度や物理環境を渇水年と通常年との間で比較している。また、Koizumi *et al.* (2012) も別の目的での調査中、台風の大雨に伴う増水に遭遇し、魚類の種組成や体サイズ組成を増水の前・後で比較している。これらの事例のように偶発的なものであっても、大規模な増水あるいは渇水を観察する機会が得られた場合には、データを収集することが望まれる。著者らは、2014年5-6月に岐阜県の溪流においてイワナ *Salvelinus leucomaenis* およびアマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae* に対する増水の影響について調査を計画した（和名および学名の表記は、向井（2017）に準拠）。当初は梅雨入り直前に標識放流を実施し、それら標識個体の残存数を増水後に調査する予定だったが、しかし、この年は、梅雨入り後も降水量が少なかったために増水が発生せず、本来の目的が達成できなかった。その一方で、6月の降水量が観測史上最少記録となり、顕著な渇水を観察する機会が得られた。本稿では、渇水時のイワナおよびアマゴの干出事例について報告する。

方 法

調査は、2014年5-6月に木曽川水系飛騨川支流馬瀬川支流の坂本谷（岐阜県下呂市馬瀬）で実施した（図1）。本研究では、当初、イワナおよびアマゴに対する梅雨の増水の影響を検証することを目的として調査区間を設定した。調査区間は、標高490-500 m、区間長100 m、平均水面幅2.2 mで、上流端に小規模の滝および下流端に治山堰堤が存在する。調査区間は、上流端の滝を0 m地点および下流端の堰堤を100 m地点とした。この堰堤は1965年に設置されたもので、調査を実施した2014年は満砂に近い状態となっていた。調査期間の降水量は、坂本谷に最も近い気象庁アメダス観測地点（下呂市萩原町羽根）における記録を参照した（気象庁、<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, 2020年3月15日確認）。

調査区間における魚類の採捕および標識は、5月28日から6月4日にかけてエレクトロフィッシャー（Smith-Root 社、LR-24型）を使用して実施した。イワナ野生魚は、計20個体を採捕し、標識として脂鰭を切除した後に採捕地点に放流した。これらの尾叉長の範囲は83-138 mm、平均 ± 標準偏差は111.4 ± 12.5 mmだった。調査区間にはアマゴ野生魚も分布しているが、十分な個体数が生息していないため、それらは調査対象としなかった。代替として岐阜県水産研究所下呂支所で生産された0歳のアマゴ80個体を使用し、脂鰭を切除した後、上流端から19 m地点にある淵に5月27日に放流した。これらの尾叉長の範囲は78-107 mm、平均 ± 標準偏差は89.5 ± 6.4 mmだった。

調査を実施した2014年は、岐阜県を含む東海地方では6

月4日頃に梅雨入りしたとみられると発表された（気象庁、<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, 2020年3月15日確認）。本研究では、当初は増水後の標識個体の残存状況を調査する予定だったが、増水ではなく渇水が発生したため、目的を変更して流路の干出状況および標識個体の残存状況を調査することとした。

本研究では、6月4-30日の期間に週1-3回の割合で調査区間を踏査し、流路の干出状況を記録するとともに、死亡個体あるいは干出直前の生残個体の回収・計数を実施した。また、それらの地点では、一部の個体が浮き石の下部の隙間に退避すると予想し、人力での作業が可能な範囲内で石を反転させて死亡個体あるいは生残個体を探索した。発見した個体のうち生残していたものは、表流水が残存している地点に移動させた。6月30日には、エレクトロフィッシャーと手網を使用した2回除去法による採捕および Program CAPTURE による個体数推定（モデル： M_{bh} ）を実施し（Rexstad and Burnham, 1992）、調査区間における標識個体の残存数を算定した。

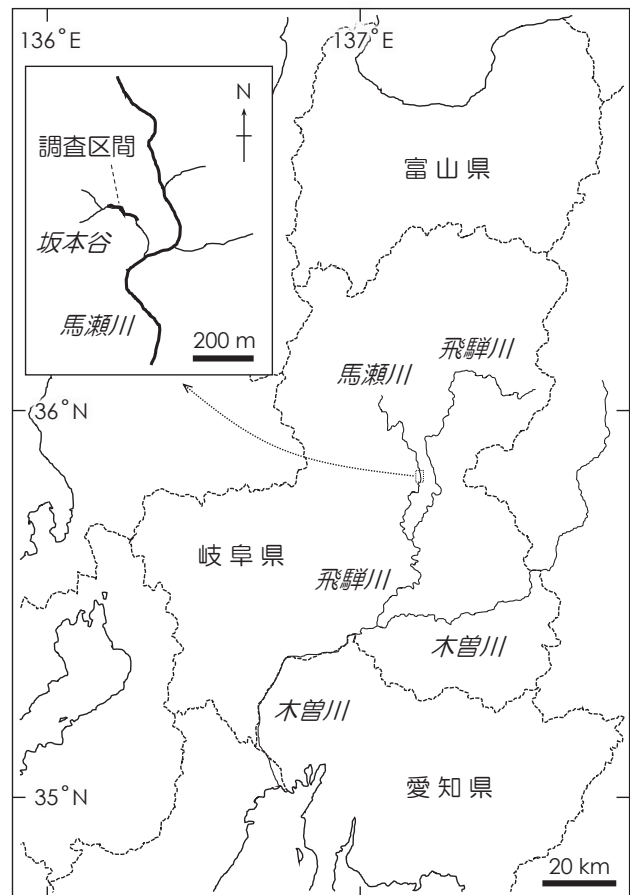


図 1. 調査を実施した木曽川水系坂本谷の位置。

結 果

調査を実施した2014年6月の月降水量は117.0 mm で、平年値（1981-2010年の平均値）296.3 mm の4割以下という観測史上最少記録となった。調査当初の5月27日から6月9日までは、下流端の堰堤付近まで流路が存在していたが、10日には流路が急速に縮小し、56 m 地点より下流側が干出した（図2）。20-24日には流路が特に縮小し、52 m 地点より下流側が干出した（図3）。6月12日、25日および29日には20-30 mm 程度の降雨によって流路が一時的に回復したが、それらの降雨の1-2日後には流路が縮小して干出が再び発生した。0-52 m 地点では、流路が干出することはなかったが、水位低下が観察された。

イワナの死亡個体は、6月10日に99 m 地点（下流端の堰堤付近）で1個体が発見された（図4A）。発見した地点は淵の最深部だった箇所、前日までは流路が存在していたが、発見時には干出していた。この死亡個体は、陸生昆虫によって一部が摂食されていたものの、脂鱗の有無が判別可能な状態であり、標識した個体であることが確認された。

アマゴの死亡個体は、6月24日に58 m 地点の淵だった箇所でも2個体が発見された（図4B）。発見時は52 m 地点から下流側は干出していた。また、淵の最深部に相当する55 m 地点において長径約60 cm の石を反転させたところ、その下部の間隙から2個体が辛うじて生残している状態で発見された（図4C）。これら2個体は、ただちに回収した後、流路が存在している19 m 地点の淵に放流した。その後、25日の降雨によって56 m 地点まで一時的に流路が回復したが、27日に52 m 地点より下流側で流路が再び縮小し、55 m 地点の干出直前の箇所でもアマゴ5個体が生残した状態で発見された。これら5個



図2. 60～100 m 地点における干出前（2014年6月8日）および干出後（同20日）の様子。



図3. 55 m 地点付近の淵における干出前（2014年6月10日）および干出後（同24日）の様子。



図 4. 干出により死亡したイワナ (A) とアマゴ (B), 干出直前の箇所で生残していたアマゴ (C).

の反転が不可能な巨礫が多数存在しており、それらの下部の間隙に未発見の個体が残存していた可能性もあるため、今回算出された割合は過小な値とみなすべきかもしれない。今回は調査していないが、干出による死亡以外の減少要因として、調査区間外に移出した可能性が挙げられる。しかし、下流側は干出している場合が多いために流下の機会は限られて

いたほか、上流側は小規模ながらも滝が存在しており、特に渇水時の遡上は容易ではないと考えられる。したがって、調査区間外に移出した個体は少数であったと推測される。他の減少要因としては、鳥類などに捕食された可能性が挙げられる。0-52 m 地点では、流路は干出しなかったものの、水位低下が発生していた。水位低下時には鳥類による捕食圧が増大するため、サケ科魚類の生残率の悪化が懸念されている (Miyamoto and Araki, 2019)。今後は、渇水時のサケ科魚類の減少要因のひとつとして、水位低下に伴う捕食圧の増大についても考慮する必要があるだろう。

国内の溪流には、利水や防災を目的として多数の堰堤が設置されてきた (高橋ほか, 2005; 大浜・坪井, 2009)。堰堤が設置された溪流における物理環境の改変として夏季水温の上昇、平瀬の増大、河床材料の小粒径化が観察されており、それらはいずれもサケ科魚類の生息に負の影響を及ぼすものと考えられている (Takahashi and Higashi, 1984; Kishi and Maekawa, 2009)。これらのほか、堰堤付近の堆砂面では伏流によって流路が干出する事例がある (櫻井, 1981; 金・水山, 2001)。本研究の調査区間においても堰堤付近の堆砂面で干出が発生する様子が観察された。今回の事例のように渇水時に干出が発生しやすいことも、堰堤が魚類に及ぼす負の影響のひとつとして認識する必要がある。また、干出した区間では、流路が回復すれば、周辺の水域で生残していた個体に移入することで生息域が再形成されるが (Magoulick and Kobza, 2003)、堰堤によって移入が制限されている場合は、生息域の再形成が阻害されるおそれがある (Perkin *et al.*, 2015)。今回の坂本谷の事例では、干出した区間は局所的であり、その上流側および下流側には魚類が残存している。しかし、下流側からの移入は堰堤によって制限されており、上流側からの移入に依存せざるを得ないため、堰堤が設置されていない場合と比較すると、生息域の再形成には時間を要するであろう。以上のように堰堤が渇水の影響を助長することは、坂本谷だけでなく、多数の堰堤が設置されている国内各地の溪流に広く該当するおそれがある。引き続き、渇水および堰堤に関する調査を実施するとともに、干出中ならびに干出後の魚類への影響について知見を蓄積することが望まれる。

本研究を実施した2014年6月の降水量は観測史上最少だった。今回確認された渇水時のサケ科魚類の干出事例は、例外的な現象とみなすべきかもしれない。ただし、国内では発電や灌漑を目的とした取水が多くの溪流で行われており、人為的な減水区間が各地に存在している。そうした減水区間では、軽度の渇水時でも干出が発生するおそれがある。干出に至らない場合でも、減水区間ではイワナの生息適地の縮小や餌生物の減少が確認されているほか (Nakamura, 2013)、鳥類による捕食圧が増大することが懸念されている (Miyamoto and Araki, 2019)。北アメリカのブルックトラウト *S. fontinalis*

の事例では、渇水時の成長抑制が観察されているほか、その後の越冬時の生残率の悪化が示唆されている（Hakala and Hartman, 2004）。また、Elliott（2000）は淵の規模と水温や溶存酸素濃度との関係について検証し、夏季の渇水時に小さい淵ほど水温が上昇する傾向およびそれに連動して溶存酸素濃度が低下する傾向を明らかにしている。水温の上昇および溶存酸素濃度の低下は、国内の溪流の減水区間でも観察されている（田代ほか, 2015）。そのため、国内の溪流においても、干出による死亡はもちろんのこと、渇水時あるいは減水区間での生息環境の悪化によってサケ科魚類が減少する可能性に留意する必要がある。

国内の溪流では、渇水がサケ科魚類の制限要因となる可能性は経験的に知られていたが（山本, 1991）、定量的に評価した事例はごく少数であった（例えば、Nakamura, 2013）。本研究により、干出による魚類の死亡が日本においても発生することが裏付けられた。湿潤な気候帯に位置する日本では、これまで主に増水の影響が調査されてきた一方（Onodera and Ueno, 1961；名越・栗田, 1986；Kano *et al.*, 2011；Koizumi *et al.*, 2012, 2013）、渇水の影響についてはあまり注目されてこなかった。しかし、地球温暖化に伴う降雨パターンの変化によっては、増水と渇水の両方のリスクが増大すると予測されている（和田ほか, 2005）。今後は、国内の溪流においても、サケ科魚類の生息を制限する要因として増水だけでなく渇水にも注目する必要がある。

謝 辞

本研究は、馬瀬川上流漁業協同組合の協力を得て実施した。野外調査では、同僚諸氏の支援を受けた。文献の入手では、国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所の宮本幸太博士、北海道大学の小泉逸郎博士、九州大学の鹿野雄一博士にお世話になった。ここに記して各位に感謝する。なお、本研究は、水産庁の放流用種育苗成手法開発事業（平成25-29年度）により実施した。

引用文献

Dagit, R., E. Bell, K. Adamek, J. Mongolo, E. Montgomery, N. Trusso and P. Baker (2017) : The effects of a prolonged drought on southern steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) in a coastal creek, Los Angeles, California. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences*, **116** : 162-173.

Elliott, J. M. (2000) : Pools as refugia for brown trout during two summer droughts: trout responses to thermal and oxygen stress. *Journal of Fish Biology*, **56** : 938-948.

Hakala, J. P. and K. J. Hartman (2004) : Drought effect on stream morphology and brook trout (*Salvelinus fontinalis*) populations

in forested headwater streams. *Hydrobiologia*, **515** : 203-213.

Kaylor, M. J., B. J. VerWey, A. Cortes and D. R. Warren (2019) : Drought impacts to trout and salamanders in cool, forested headwater ecosystems in the western Cascade Mountains, OR. *Hydrobiologia*, **833** : 65-80.

Kano, Y., K. Ohnishi, Y. Tomida, N. Ikeda, N. Iwawaki, M. Miyagawa, Y. Harada, H. Ichianagi and K. Watanabe (2011) : Fluctuation and variation in stream-fish assemblages after a catastrophic flood in the Miyagawa River, Japan. *Environmental Biology of Fishes*, **92** : 447-460.

金永模・水山高久 (2001) : 六甲山系における砂防ダムと溪流魚. 砂防学会誌, **54** : 19-27.

Kishi, D. and K. Maekawa (2009) : Stream-dwelling Dolly Varden (*Salvelinus malma*) density and habitat characteristics in stream sections installed with low-head dams in the Shiretoko Peninsula, Hokkaido, Japan. *Ecological Research*, **24** : 873-880.

Koizumi, I., K. Hasegawa and D. Kishi (2012) : Do small tributaries function as refuges from floods? A test in a salmonid-dominated mountainous river. *Ecology of Freshwater Fish*, **21** : 165-167.

Koizumi, I., Y. Kanazawa and Y. Tanaka (2013) : The fishermen were right: experimental evidence for tributary refuge hypothesis during floods. *Zoological Science*, **30** : 375-379.

Lake, P. S. 2003. Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater Biology*, **48** : 1161-1172.

Lennox, R. J., D. A. Crook, P. B. Moyle, D. P. Struthers and S. J. Cooke (2019) : Toward a better understanding of freshwater fish responses to an increasingly drought-stricken world. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **29** : 71-92.

Lytle, D. A. and N. L. Poff (2004) : Adaptation to natural flow regimes. *TRENDS in Ecology and Evolution*, **19** : 94-100.

Magoulick, D. D. and B. M. Kobza (2003) : The role of refugia for fishes during drought: a review and synthesis. *Freshwater Biology*, **48** : 1186-1198.

Miyamoto, K. and H. Araki (2019) : Effects of water depth and structural complexity on survival and settlement of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*). *Hydrobiologia*, **840** : 103-112.

向井貴彦 (2017) : 岐阜県の魚類. 岐阜新聞社, 岐阜.

名越誠・栗田浩行 (1986) : 渓流域のアマゴの個体群密度と生産量の関係. 日本水産学会誌, **52** : 1875-1879.

Nakamura, T. (2013) : Effects of flow reduction on a whitespotted char population in a Japanese mountain stream. *North American Journal of Fisheries Management*, **33** : 1142-1148.

Onodera, K. and T. Ueno (1961) : On the survival of trout fingerlings stocked in a mountain brook-II. Survival rate measured and scouring effect of flood as a cause of mortality. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, **27** : 530-557.

大浜秀規・坪井潤一 (2009) : 透過型堰堤における魚道とし

- ての機能. 応用生態工学, **12** : 49-56.
- Perkin, J. S., K. B. Gido, K. H. Costigan, M. D. Daniels and E. R. Johnson (2015) : Fragmentation and drying ratchet down Great Plains stream fish diversity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **25** : 639-655.
- Rexstad, E. and K. P. Burnham (1992) : User's guide for interactive Program CAPTURE. Colorado Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.
- 櫻井正美 (1981) : 河川伏流域における水生昆虫生息状態の一例. 陸水学雑誌, **42** : 40-45.
- Takahashi, G. and S. Higashi (1984) : Effect of channel alteration on fish habitat. *Japanese Journal of Limnology*, **45** : 178-186.
- 高橋剛一郎・桑原禎知・山中正実 (2005) : 知床半島におけるダム : 環境の保全と河川管理上の諸問題. 保全生態学研究, **10** : 139-149.
- 田代喬・片岡輝之・スクカイエットミル・辻本哲郎 (2015) : 流込み式堰堤による発電取水が溪流生態系に及ぼす影響 : 溶存酸素濃度の連続観測による生態系代謝評価. 土木学会論文集 B1 (水工学), **71** : I_1129-I_1134.
- VerWey, B. J., M. J. Kaylor, T. S. Garcia and D. R. Warren (2018) : Impacts of a severe drought on cutthroat trout in a western Oregon headwater ecosystem. *Northwestern Naturalist*, **99** : 209-222.
- 和田一範・村瀬勝彦・富澤洋介 (2005) : 地球温暖化に伴う降雨特性の変化と洪水・渇水リスクの評価に関する研究. 土木学会論文集, **796** : 23-37.
- 山本聡 (1991) : イワナその生態と釣り. つり人社, 東京.
(担当編集委員: 末吉正尚, 土木研究所自然共生研究センター)