

## 養鱒場の水溫変動の特徴と降水の影響

鈴木邦弘\*・松山 創\*

静岡県内の4養鱒場7地点において、水温データロガーにより観測した毎正時の水温と気象データを解析し、各地点の水温変動の特徴と水温変動に及ぼす降水量の影響を評価した。水温変動は、水源が湧水の場合は小さく、河川水の場合は大きかった。また、同一の河川では、湧出場所からの距離が遠いほど水温の年平均値が高く、変動も大きい傾向がみられた。さらに、6~9月の急激な水温上昇は台風などによる大雨の日と、11~3月の水温の急降下は低気圧に伴う気温の低下日と一致した。大雨の影響を最も強く受けていた富士宮市淀師地区の養鱒場では、時間降水量あたりの水温上昇幅は0.0848℃/mmであり、大雨警報が発令される時間降水量50mmでは1時間で水温が4.2℃上昇すると推定された。以上のことから、夏季の大雨は水温を急変動させるため、養鱒業者は定時水温の記録を心掛け、天気予報による情報から水温上昇を警戒しておく必要があると考えられた。

キーワード：養鱒場、水温、水温変動、降水量、ニジマス、*Oncorhynchus mykiss*

冷水性淡水魚類であるニジマス*Oncorhynchus mykiss*は、水温によって生息が制限され<sup>1,2)</sup>、養殖の適水温は13~18℃である<sup>3)</sup>。また、急激な水温上昇は、ピブリオ病に対する抵抗性の低下を招く<sup>4)</sup>とも報告されている。このように、ニジマスは水温による影響を受けやすい魚種であり、高水温や急激な水温変動は養鱒経営を左右する重大な因子と考えられるが、これまでに詳細でかつ連続した水温観測が複数の養鱒場で同時に行われた報告は見当たらない。そこで本研究では、水源や標高等の諸条件の異なる県内の4養鱒場7地点に水温データロガーを設置し、毎正時の水温を連続観測することで、各地点の水温変動の特徴を明らかにした。また、併せて気象のデータを解析することにより、降水量が養鱒場の水温変動に与える影響を評価した。

### 材料及び方法

#### 水温の観測方法

水源、標高、設置場所等の諸条件の異なる7地点に、水温データロガー(onset社TidbiT v2, 型式UTBI-001)

を設置した(図1)。7地点の特徴は項目別に、4つの養鱒場、4つの地区(猪之頭、白糸、淀師、柿木)、2つの水系(富士川、狩野川)、3つの河川(芝川、潤井川、柿木川)、2種の水源(地下水を含めた湧水、河川水)にそれぞれ類別され、さらに湧出場所からの距離や標高が地点により異なった(表1)。

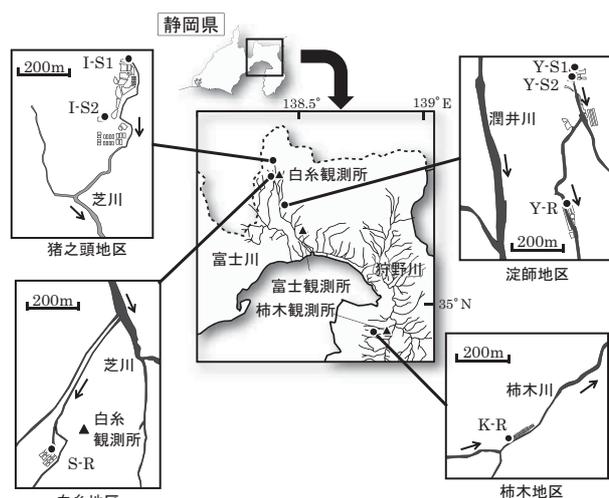


図1 水温計設置及び観測所の位置  
(矢印は水の流れを示す)

2014年1月14日受理

静岡県水産技術研究所富士養鱒場業績第45号

\*静岡県水産技術研究所富士養鱒場

### 気温及び降水量のデータ収集

水温変動に与える気象の影響を検討するために、気象庁及び国土交通省のウェブサイト<sup>\*1,2</sup>から、気温及び降水量のそれぞれの毎時データを収集した。

解析対象とする観測所は、降水量が水温変動に及ぼす影響を評価するため、水温観測地点との距離が近い白糸観測所(富士宮市原, 標高530m)と柿木観測所(伊豆市本柿木, 標高213m)を選定した。ただし、気温については、これらの観測所では観測されていないことから、近傍にある富士観測所(富士市厚原, 標高66m, 図1)のデータを利用し、これを一般的に知られる通減率(0.55°C/100m)により補正してから解析に供した。また、静岡地方気象台のウェブサイト<sup>\*3</sup>から、毎月発行される「静岡県の気象・地震概況」を入手し、降雨や寒気の流れ込みの状況等を把握した。

### データの処理方法

水温データの解析期間は、S-R地点を除く全地点で観測を開始していた2012年4月からの1年間とした。ただし、水温データロガーの露出等によりデータの一部が欠測したI-S1地点、I-S2地点、S-R地点では、それぞれ9ヵ月、11ヵ月、9ヵ月とした。

本研究では、水温及び気温(T)は、季節変動成分(S)、日周変動成分(D)、短期変動成分(I)の和( $T = S + D + I$ )で表されるとした。季節変動成分は、1年を周期とする変動であるが、使用したデータが1年間であるため、24時間を超える周期の変動をまとめて季節変動と

し、原系列の24時間移動平均値とした。日周変動成分は24時間周期の変動で、原系列から季節変動を差し引いた値の月別時刻別平均値として求めた。短期変動は、原系列から規則的な変動を除いた後に残る非周期的な変動で、原系列から季節変動成分と日周変動成分を差し引いたものとした<sup>3)</sup>。

### 水温変動の特徴と気象による影響評価

地点毎の水温変動の特徴を明らかにするために、水温及び気温並びに降水量の経時推移を比較した。次に、水温と気温から分離した短期変動成分と降水量の経時推移を比較した。さらに、白糸測候所の降水量観測値が年平均値から標準偏差の3倍以上離れた事例について、時間降水量の日間最大値と、S-R地点とY-R地点の水温短期変動成分の日間最大値との一次関係式を求め、降水量が水温の短期変動に与える影響を評価した。

## 結 果

### 気温及び降水量の経時推移

降水量及び気温並びに各地点の水温の経時推移を図2に示した。気温には明瞭な季節変動が見られ、最高気温は8月の31.5°C、最低気温は1月の-6.1°Cであった。11~4月には暖気や寒気の流れ込みにより、数日で10°Cを超える変動が多く認められた。降水量は、台風の襲来や梅雨前線等の活発化がみられる6~9月に多く、白糸ではこの4ヵ月間で年間降水量2,382mmの過半を

表1 水温データロガーの設置地点の概況

地点記号	養鱒場名	地区名	水系名	河川名	水源	標高(m)	地点の詳細	観測開始年月	欠測期間
I-S1	富士養鱒場	猪之頭	富士川	芝川	湧水 <sup>※</sup>	710	河川内(湧出場所から約10m下流)	2012年4月	1/1~3/31
I-S2	富士養鱒場	猪之頭	富士川	芝川	湧水 <sup>※</sup>	700	飼育池内(I-S1から約400m下流)	2011年11月	6/18~7/20
S-R	A	白糸	富士川	芝川	河川水	528	飼育池内(I-S1から約7km下流)	2012年7月	4/1~7/2
Y-S1	B	淀師	富士川	潤井川	湧水 <sup>※</sup>	141	湧出・揚水場所	2011年7月	
Y-S2	B	淀師	富士川	潤井川	湧水 <sup>※</sup>	140	飼育池内(Y-S1から約30m下流)	2011年8月	
Y-R	B	淀師	富士川	潤井川	河川水	137	飼育池内(Y-S1から約600m下流)	2011年7月	
K-R	C	柿木	狩野川	柿木川	河川水	277	飼育池内	2012年2月	
種類数	4	4	2	3	2				

※地下水の利用を含む

\*1気象統計情報 <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>

\*2国土交通省リアルタイム川の防災情報 <http://www.river.go.jp/>

\*3静岡県の気象・地震概況 <http://www.jma-net.go.jp/shizuoka/gaikyo/index.html>

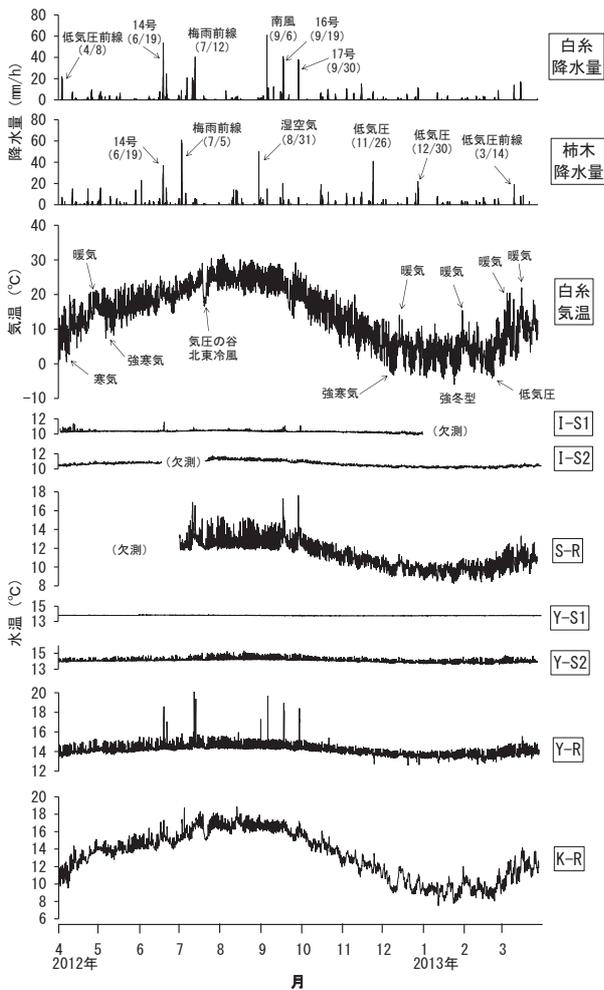


図2 降水量及び気温並びに各地点の水温の経時推移状況

占めた。時間最大降水量は白糸で9月6日に、柿木で7月3日に共に61mmを記録しており、両観測点が位置する富士宮市と伊豆市には大雨洪水警報が発令された。また、白糸における6月19日(台風14号)及び9月30日(台風17号)の大雨では、災害に繋がる恐れがあるとして富士宮市付近に対し記録的短時間大雨情報が発令された。

水温変動の特徴

水温の地点別特性値を表2に示した。猪之頭地区のI-S1地点とI-S2地点は、水源が湧水で標高約700mに位置しており、観測水温の年平均(年標準偏差, 年較差)が10.3℃(0.13℃, 0.3℃)と10.7℃(0.38℃, 1.1℃)で観測地点中で最も低く、変動も小さかった。しかし、I-S1地点では、台風などによる大雨時には数時間で最大約1℃上昇し、1時間あたりでは最大0.6℃上昇した(図2)。

白糸地区のS-R地点は、水源が河川水でI-S1地点から7km下流の標高528mの芝川沿いに位置しており、年

表2 水温の地点別特性値

単位: °C

地点記号	年平均	年標準偏差	年較差*	1時間あたりの最大上昇幅
I-S1	10.3	0.13	0.3	0.6
I-S2	10.7	0.38	1.1	0.1
S-R	11.2	1.52	3.4	1.8
Y-S1	13.8	0.03	0.1	0.1
Y-S2	14.1	0.24	0.5	0.6
Y-R	14.1	0.53	1.1	5.1
K-R	13.2	2.70	7.7	1.9

\*月平均値の最大値と最小値との差

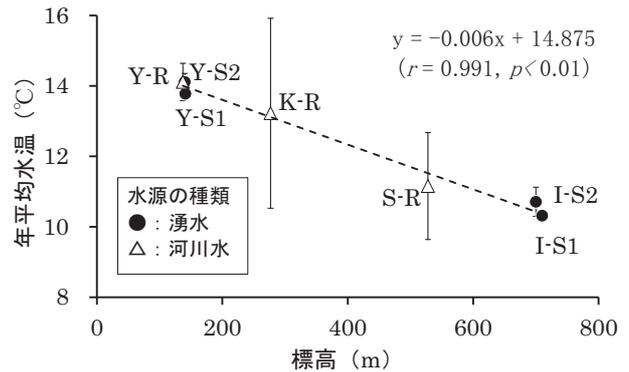


図3 標高と年平均水温との関係 (縦バーは標準偏差を示す)

平均(年標準偏差, 年較差)は11.2℃(1.52℃, 3.4℃)で猪之頭地区よりも年平均が高く、変動も大きかった。また、明瞭な24時間周期の変動が観測されると共に、台風や梅雨前線の通過時には半日で最大約5℃上昇し、1時間あたりでは最大1.8℃上昇した(図2)。

淀師地区のY-S1地点、Y-S2地点及びY-R地点は、観測地点中で最も低い標高約140mの潤井川沿いに位置しており、年平均(年標準偏差, 年較差)はそれぞれ13.8℃(0.03℃, 0.1℃)、14.1℃(0.24℃, 0.5℃)及び14.1℃(0.53℃, 1.1℃)で他地区に比べて高く、変動は小さかった。しかし、Y-R地点においては、台風などの大雨時には数時間で最大約6℃上昇し、1時間あたりでは他地区よりも大きく最大5.1℃上昇した(図2)。

柿木地区のK-R地点は、水源が河川水で標高277mに位置しており、年平均(年標準偏差, 年較差)が13.2℃(2.70℃, 7.7℃)で、年標準偏差と年較差は観測地点中で最も大きかった。また、24時間周期の変動が観測されると共に、梅雨前線が活発化した7月初旬には数時間で最大約3℃上昇し、1時間あたりでは最大1.9℃上昇した(図2)。

水源別で見ると(表2)、年標準偏差は、湧水の4地点(I-S1, I-S2, Y-S1及びY-S2)で0.03~0.38℃と小さく、河川水の3地点(S-R, Y-R及びK-R)で0.53~2.70℃と

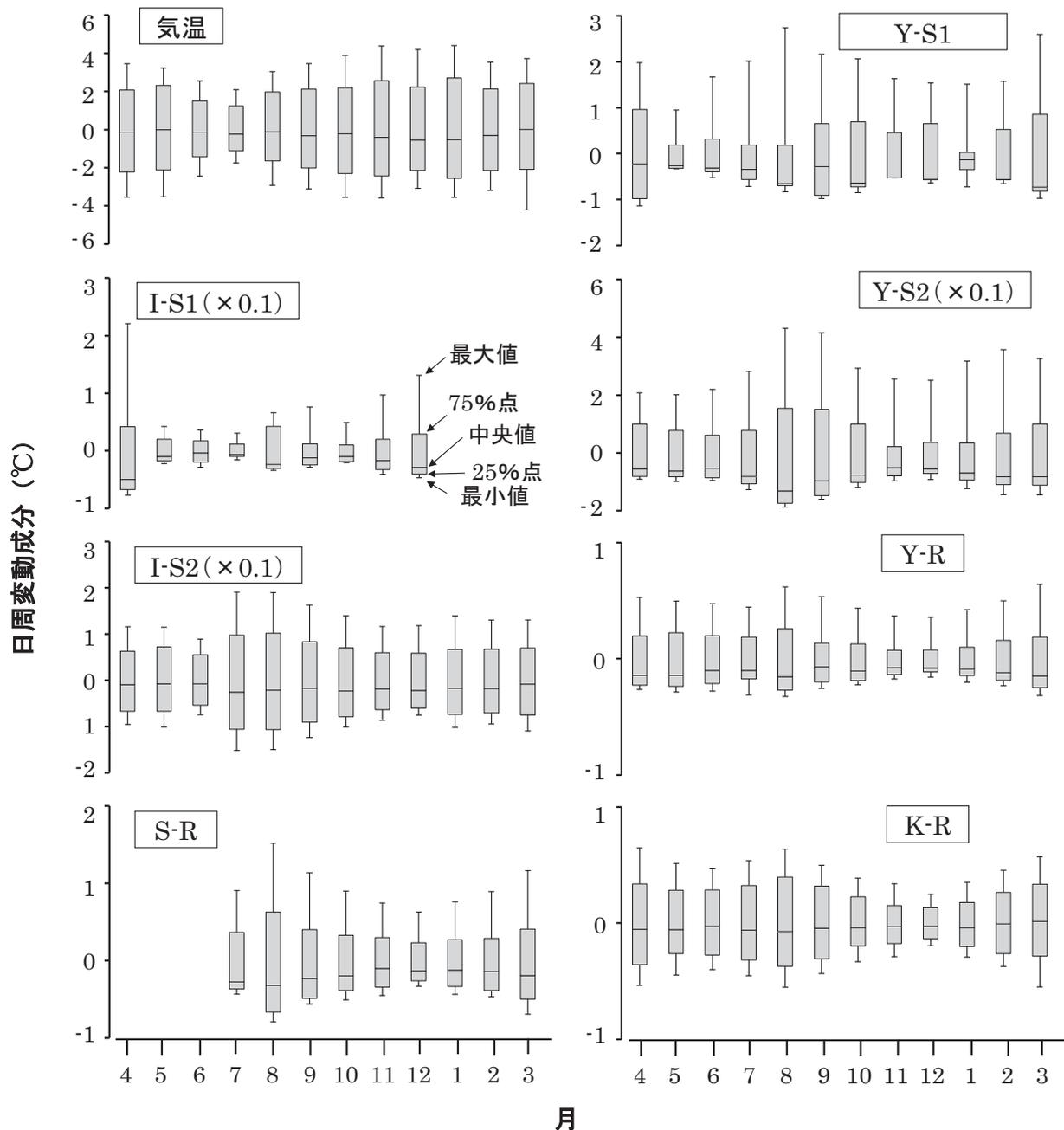


図4 気温及び水温の月別の日周変動成分

大きかった。同様に、年較差と1時間あたりの最大上昇幅についても、湧水の4地点では0.1～1.1℃と0.1～0.6℃であったのに対し、河川水の3地点では1.1～7.7℃と1.8～5.1℃で大きかった。また、同一河川内で見ると(表2)、例えば芝川水系に位置する3地点(I-S1, I-S2及びS-R)では、年平均(年標準偏差, 年較差)は順に10.3℃(0.13℃, 0.3℃), 10.7℃(0.38℃, 1.1℃), 11.2℃(1.52℃, 3.4℃)であり、水源から遠ざかるほど年平均が高く、変動も大きくなった。さらに、観測点の標高が増すと年平均が低下する傾向が認められ(図3)、両者は相関の高い一次式で回帰した( $r=0.991, p<0.01$ )。

#### 水温及び気温の日周変動の特徴

気温及び水温の月別の日周変動成分を図4に示した。水温の日周変動幅の平均値は、最も小さいY-S1地点で0.03℃、最も大きいS-R地点で1.5℃であり、地点により変動幅が大きく異なった。水源の種類別には、湧水である4地点での変動は小さく、また、同一河川では水源から遠ざかるほど変動が大きくなった。さらに、I-S1地点を除き月により変化する傾向が認められ、7～8月に最大となった後に減少し、11～12月に最小となり、その後再び増加した。一方、気温の日周変動幅は、7月に最小で1月に最大となっており、水温とは上下のピークが異なった。

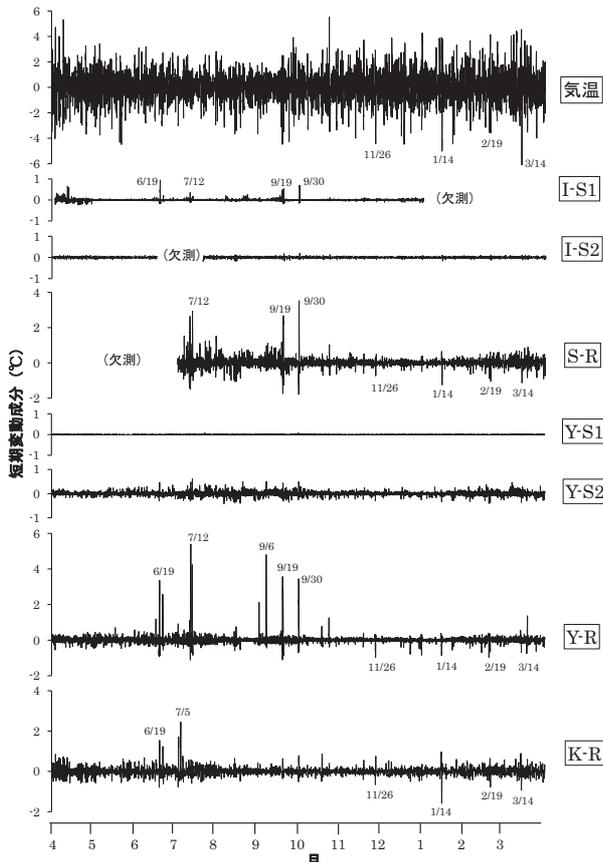


図5 気温及び水温の短期変動成分

水温及び気温の短期変動の特徴

気温及び水温の短期変動成分を図5に示した。気温の短期変動は、6～8月に小さく、11～3月に大きい傾向があり、全期間通じての分散は1.35であった。

水温の短期変動成分の分散は、水源が湧水である4地点では0.00～0.01と非常に小さく、河川水を水源とする3地点では0.04～0.08と大きかった。また、河川水を水源とする3地点では、6～9月に数時間で2～5℃急上昇する現象がしばしばみられ、これらは台風14号(6月19日)、梅雨前線の活発化(7月5日、7月12日)、湿った南風の流れ込み(9月6日)、台風16号(9月19日)及び台風17号(9月30日)により降水量が増加した日と一致した。また、11～3月には1～2℃の急降下がみられ、これは低気圧に伴う前線の通過により気温の短期変動成分が降下した日(11月26日、1月14日、2月19日及び3月14日)と一致した。

水温と降水量の関係

白糸測候所の時間降水量の年平均値は0.272mm、標準偏差は1.862mmであった。標準偏差の3倍(5.5mm)以上離れた事例は110事例あり、同じ日の事例を除くと34日間あった。S-R地点及びY-R地点における時間降水

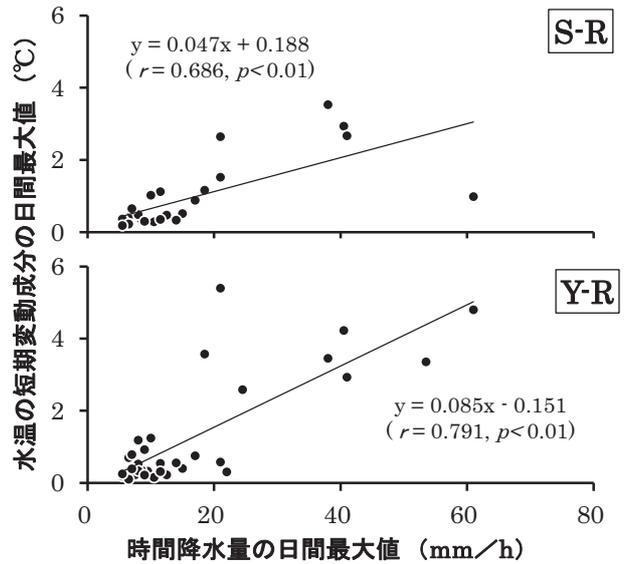


図6 時間降水量と日間最大値と水温短期変動成分の日間最大値との関係

量の日間最大値と水温の短期変動成分の日間最大値との関係を図6に示した。両地点共に、時間降水量の最大値が増加すると水温の短期変動成分の最大値も増加する傾向がみられた。時間降水量あたりの水温上昇幅は、S-R地点で0.0470℃/mm、Y-R地点で0.0848℃/mmであり、Y-R地点の方が大きかった。

考 察

養鱒場の水温変動の特徴

養鱒場における水温の日周及び短期変動は、水源が湧水の場合は小さく、河川水の場合は大きかった。また、同一の河川では、湧出場所からの距離が遠いほど、水温変動が大きくなる傾向がみられた。さらに、6～9月の水温の急上昇は降水の影響を受け、11～3月の水温の急降下は気温の影響を受けているものと推察された。河川水温は、源流を出発してからの経過時間と太陽時の時刻(放射量や気温などの大気側の条件)の影響を受けることから<sup>6)</sup>、養鱒場の水温変動も水源からの距離と時間の影響を受けると考えられた。また、水温の年平均値と標高には1次式の関係があることが知られており<sup>7)</sup>、今回の結果もこれと合致した。水温はニジマスの成長<sup>3)</sup>や成熟年齢にも影響を与え<sup>8)</sup>、年平均10～11℃の猪之頭地区(標高約700m)に比べ、年平均約14℃の淀師地区(標高約140m)では成長が早く、通常よりも1年早い満2歳で成熟する個体が多い(加藤私信)。また、種苗生産を目的とした親魚飼育には、4～13℃の水温が適している<sup>3)</sup>と報告されている。このように、

標高や水源等による水温の違いは養鱒業の経営に密接に関係すると考えられるため、養鱒業者は自らの養鱒場の水温特性を熟知することが重要である。

### 降水が水温変動に及ぼす影響

6～9月の急激な水温上昇は、台風などにより降水量が増加した日に観測されたが、同様の現象は近隣県の河川でも報告されており、7～9月の台風接近により河川水温よりも高温の雨水が短期間に大量流入することで発生することが明らかにされている<sup>9-11)</sup>。従って、養鱒場における急激な水温上昇も、水温と気温との温度差が大きかつ台風などにより降水量が多い夏季に発生しやすいと考えられる。図6から、S-R地点及びY-R地点での時間降水量あたりの水温上昇幅はそれぞれ0.0470°C/mm及び0.0848°C/mmであり、富士宮市内で大雨水注意報並びに大雨警報が発令される時間降水量30mmと50mmの場合の水温上昇は、S-R地点では1.4°Cと2.3°C、Y-R地点では2.5°Cと4.2°Cと推定される。

### 水温上昇による影響

水温上昇がニジマスを直接的に死亡させた事例として、最低水温が20°Cを越えたときに多数死亡したこと<sup>12)</sup>や、猛暑と異常渇水により最高水温が30°C近くになり全滅した事例<sup>7, 13)</sup>が報告されている。本研究では、水温が20°Cを越えたのはY-R地点で1回のみであるため、現時点では高水温が死亡の直接的な原因にはならないと考えられる。しかし、水温上昇はニジマスの免疫等に影響を及ぼすことが示唆されており<sup>14)</sup>、間接的にニジマスの飼育に影響を与えることが考えられる。従って、養鱒業者は定時水温の記録を心掛けると共に、天気予報等による情報に注意し水温上昇を警戒する必要がある。また、今後は大雨時の増水による濁水流入の影響も併せて評価していく必要がある。

本研究の主旨に賛同し水温データロガーの設置を承諾頂いた関係養鱒場の経営者、及び水温データロガーの管理に協力頂いた秋山徳浩氏、加藤正利氏、平手憲一氏、石川浩之氏、下山明氏に感謝申し上げる。

### 文 献

- 1) Eaton J. G., McCormick J. H., Goodno B. E., O'brien D.G., Stefany H. G., Hondzo M., Scheller R. M. (1995): A field information based system for estimating fish temperature tolerances, *Fisheries*, 20, 10～18.
- 2) Rahel F. J., Keleher C. J., Anderson J. L. (1996): Potential habitat loss and population fragmentation for cold water fish in the North Platte River drainage of the Rocky Mountains, *Limnol. Oceanogr.*, 41(5), 1116～1123.
- 3) 大渡齊(1982): ニジマス, 新水産学全集16淡水養殖技術(野村稔編), 恒星社厚生閣, 東京, 268～291.
- 4) 青島秀治・石高康治・岡本信明(2005): 温度ストレス下でのニジマス末梢血貪食細胞の生体防御活性とビブリオ病抗病性との不一致について, 魚病研究, 40(2), 47～51.
- 5) 渡辺美智子・神田智弘(2008): 時系列データの分析, 実践ワークショップ Excel徹底活用 統計データ分析 改訂新版, 株式会社秀和システム, 東京, 97～160.
- 6) 近藤純正(1995): 河川水温の日変化(1)計算モデル—異常昇温と魚の大量死事件—, 水文・水資源学会誌, 8(2), 184～196.
- 7) 新井正・西沢利栄(1974): 河川の水温, 水文学講座10 水温論, 共立出版株式会社, 東京, 47～143.
- 8) 野村稔(1963): ニジマスの人工採卵に関する基礎研究—V生殖巣の発達と初産魚の大きさ, 日本水産学会誌, 29(11), 976～984.
- 9) 杉田倫明(1983): 降雨に伴う渓流水温の変化, 地理学評論, 56(12), 835～843.
- 10) 宮本良平・小林由委・中村俊六・高木不折(1983): 出水時における河川水温の変動, 第27回水理講演会論文集, 土木学会, 213～218.
- 11) 鈴木啓助(1991): 降雨に対する応答の速い河川水中の溶存成分濃度変化について, 東北地理, 43, 111～121.
- 12) 畑久三(1950): 環境の變化が淡水魚類に及ぼす影響—水温の上昇が鱒稚魚に及ぼす影響に就て, 日本水産学会誌, 15(11), 665～670.
- 13) 近藤純正(1995): 河川水温の日変化(2)観測による検証—異常昇温と魚の大量死事件—, 水文・水資源学会誌, 8(2), 197～209.
- 14) 横塚哲也・石川孝典(2013): 養魚環境における免疫低下時期および要因の解析試験2—水温上昇ストレスがニジマスの免疫力に及ぼす影響の解明—, 栃木県水産試験場研究報告, 56, 32～33.

1) Eaton J. G., McCormick J. H., Goodno B. E., O'brien D.G., Stefany H. G., Hondzo M., Scheller R. M. (1995): A field information

# Changes in water temperature characteristics influenced by precipitation in trout farms

Kunihiro Suzuki and Hajime Matsuyama

**Abstract** We measured water temperature at every hour on the hour by the data logger at 7 points on 4 trout farms in Shizuoka. Then we analyzed meteorological data, and evaluated the characteristics of the water temperature change and influence on its change by precipitation at each point. Water temperature remained relatively stable at points fed by a spring, but was subjected to major variation at points fed by a river. In addition, the annual average water temperature tended to be higher (with larger variation) with greater distance from the gush point along the same river. Furthermore, a rapid rise in water temperature was recorded from June to September, which was consistent with days of heavy rain caused by typhoons. In contrast, sudden drops in water temperature from November to March were consistent with days of lower air temperature because of passing low-pressure systems. The trout farm in Yodoshi District of Fujinomiya City was the most affected by heavy rains. This farm exhibited a rise of 0.0848 °C/mm/h in water temperature following precipitation. It was estimated that the water temperature rise 4.2 °C/h in precipitation at 50 mm/h, which corresponds to the official announcement for a heavy-rain warning.

**Key words:** trout farm, water temperature, water temperature change, precipitation, Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*

