

# 広瀬川中流域における水温の日周・季節変動

～水温変化が魚類の分布・生息に及ぼす影響～

\*棟方有宗・\*\*大浪達郎

## Diurnal and Seasonal Changes in Water Temperature in the Middle of the Hirose River

MUNAKATA Arimune and OHNAMI Tatsuro

### 要約

2004年1月に広瀬川中流域の郷六～三居沢地区の4地点に温度計ロガーを設置し、水温を5分ごとに周年にわたって計測した。水温は、8月に最高値(28.2℃)、1月に最低値(0.03℃)を記録した。また水温の変動幅は、6月に最高(4.0℃)、1月に最低(1.6℃)となった。三居沢水力発電所からの放水が流れ込む広瀬川の上流側と下流側では、9月に最大で約4℃の水温差が生じたことから、魚類などの水生生物への影響が考えられた。

キーワード：広瀬川、三居沢水力発電所、北堰、水温、流量、魚類

### 1. はじめに

水温は、河川に生息する魚類などの水生生物の分布や生息に最も強い影響を及ぼす外部環境要因の一つである(北野ら, 1995)。一般に、周年にわたって水温が低く安定している河川上流域には、イワナ(*Salvelinus leucomaenis*)やヤマメ(サクラマス(*Oncorhynchus masou*)の河川残留型)、カジカ(*Cottus hilgendorfi*)などの冷水性の魚類が分布し、下流域にはアユ(*Plecoglossus altivelis*)やウグイ(*Tribolodon hakonensis*)、ギンブナ(*Carassius gibelio langsdorfii*)、コイ(*Cyprinus carpio*)などの温水性の魚類が分布している。また、河川の中流域は上流域に生息する冷水性魚類の分布下限域に、また下流域に生息する温水性魚類の分布上限域になっており、多くの魚種が生息する多様な環境を作っている(中村, 1969; 広, 1976・1977; 樋口ら, 2005; 古田・古屋, 2006)。しかし中流域は、魚類だ

けではなく人によっても利用され、開発の影響を受けていることが多い(島谷, 2000)。

宮城県仙台市を流れる広瀬川では、中流域にあたる郷六～三居沢地区周辺において、イワナやヤマメ、カジカ、ウグイ、ギンブナ、コイ等の魚類が見られ、また春や秋にはサクラマスやシロサケ(*O. keta*)、アユ等の回遊性魚類が遡上する(棟方・白鳥, 2005)。しかし、この地区には四ヶ谷堰や北堰といった工業・発電用水等の取水のための堰が設置されており、取水による河川流量の減少や、それに伴う水温の上昇や低下が起こることで、魚類の分布や生存に影響が及んでいることが考えられる。

そこで、本研究では広瀬川の中流域の郷六～三居沢地区までの4地点において、水温の変化を周年にわたって調べた。また、これら4地点のデータを比較することにより、堰や発電所による取水や放水が、広瀬川の水温の変化や魚類の分布・生息に及ぼす影響を検

\* 宮城教育大学教育学部理科教育講座

\*\* 宮城教育大学大学院理科教育専修

討することを目的とした。

## 2. 調査方法

### 1) 調査地点

広瀬川は、奥羽山脈の関山峠（標高804m）に源流を持ち、名取川と合流するまでの河川長が45.2km、流域面積315.9km<sup>2</sup>、平均流量約7~16 m<sup>3</sup>/sの一級河川である。名取川と合流した後、さらに約7 kmで太平洋に注ぐ（水環境ネット東北, 2005）。

水温の計測は、源流から約30kmに位置する郷六から三居沢地区の以下の4地点で行った；①郷六地区・北堰の上流約500m地点（上流）、②三居沢水力発電所放水路の放水口から上流約30m地点の広瀬川本流（中流）、③同放水口の下流約300m地点の広瀬川本流（下流）、④同放水口から約30m上流の発電所放水路内（水路）。

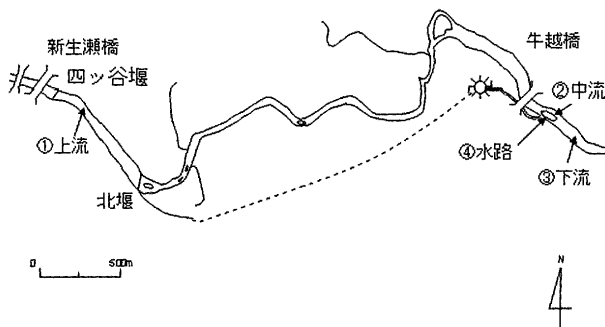


図1. 広瀬川の郷六～三居沢地区の模式図ならびに水温の計測地点。

北堰では、三居沢水力発電所の発電用水のために河川水の一部が取水され、取水された水は約2.4kmの導水路（そのうち約1.7kmがトンネル部分）と発電所放水路を経て牛越橋の約50m下流で本川に放水される（図1）。郷六から三居沢地区にかけての本川の流程は約4.5kmである。北堰からの取水量は、2.27~5.57 m<sup>3</sup>/sであり（仙台都市総合研究機構, 2000）、季節によっては本川の水の多くが取水されていることになる。

### 2) 水温

水温は、標準温度計によって誤差を補正した自動計測型の水温計（Stow Away TidbiT Temp Logger, TB132-05+37（Onset Computer社）, 最大読み取

り誤差±0.2℃（+20℃時）を用いて、2004年1月1日0時から2005年1月25日13時までの間、5分間隔で記録した。

### 3) 気温

気温は、三居沢地区の東約4 kmに位置する気象庁仙台管区气象台（仙台市宮城野区五輪1-3-15）が記録、公開しているデータを引用した。

### 4) 水位

水位は、調査地点①の約1 km上流に位置する国土交通省水文水質観測所・落合観測所が記録、公開しているデータを引用した。なお、2月6日20時から3月17日22時までのデータは、水位観測所のデータの欠測により取得できなかった。

## 3. 結果

### 1) 水温, 気温, 水位の周年変化

図2に水温, 気温, 及び水位の月平均値を示した。平均水温は、各地点ともに8月に最高値を示し、1月に最低値を示した。また平均水温は冬季に平均気温を上回り、夏季には平均気温を下回り、それぞれ4月と12月に平均水温と平均気温の逆転が見られた。4地点間の水温差は、冬季に少なく、夏季に大きくなった。

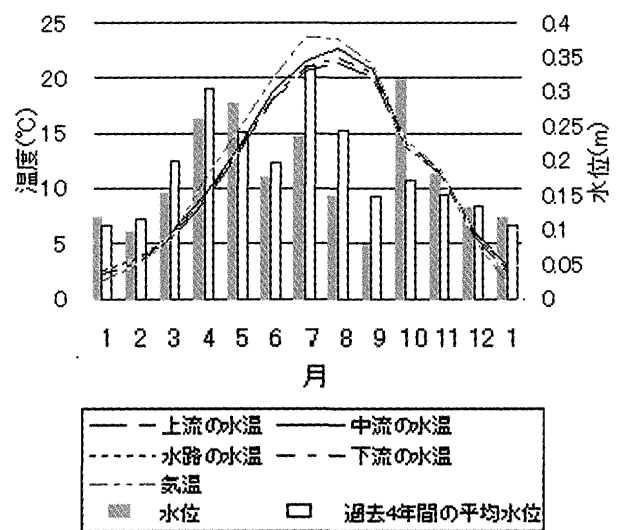


図2. 広瀬川郷六～三居沢地区の水温, 気温, 及び水位の月平均値の周年変化, ならびに2002年6月～2006年8月までの各月の平均水位（水位データが欠測した期間を含めず平均値を算出した.）。

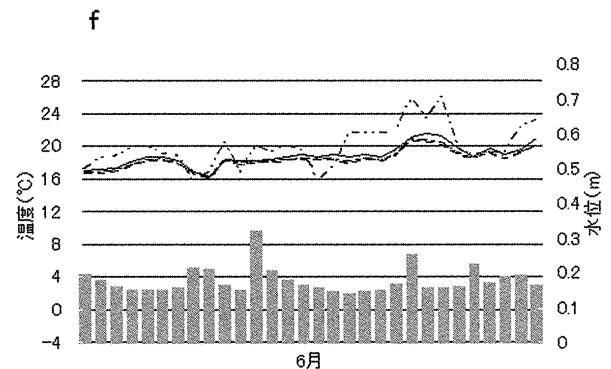
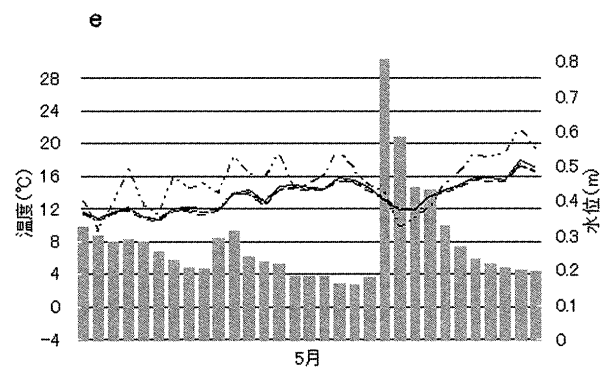
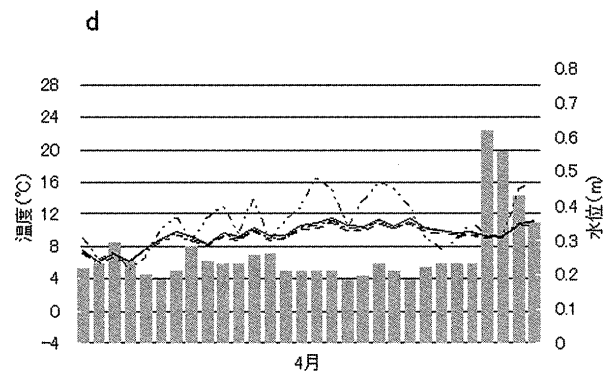
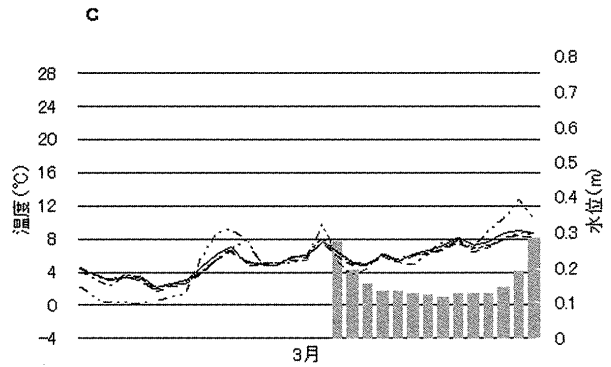
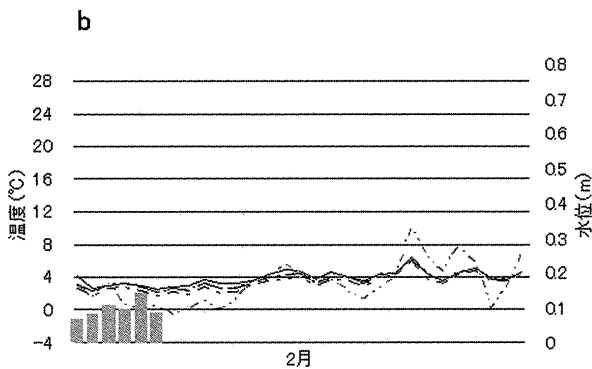
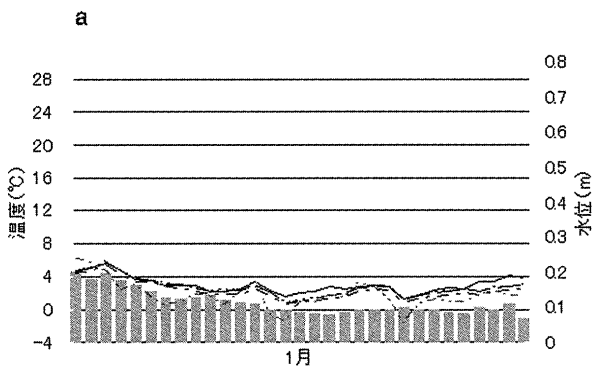
平均水温は、①上流が各月共に他の3地点よりも低く、②中流が、各月共に他の3地点よりも高く、夏季には2地点間の水温差が最も大きくなった。

気温は、7月に最高値を示し、1月に最低値を示した。水位は、5月と10月にピークを持つ2峰型を示し、9月に最低水位を記録した。また過去4年間の平均水位と比較して、本年は7～9月に低水位、10月に高水位となる傾向を示した。

2) 水温、気温、水位の日周変化

図3 a～mに、水温、気温、及び水位の各日の平均値を月別に示した。平均水温と平均気温は、各月ともに3～7日程度の周期で変動を繰り返しながら冬季から夏季にかけては上昇し、また夏季から冬季にかけては下降した。いずれの月においても、平均水温の変動は平均気温の変動と大きな関係を示し、また水温は気温と比べて小さい変動幅を示した。平均水温の最高値は、①上流で23.75℃(8月5日)、②中流で25.38℃(7月10日)、③下流で24.28℃(7月10日)、④水路で24.2℃(7月10日)であり、②中流が最も高い値となった。また平均水温の最低値は、①上流で0.92℃(2004年1月15日)、②中流で1.37℃(2004年1月23日)、③

下流で0.78℃(2004年1月15日)、④水路で0.86℃(2004年1月15日)であった。



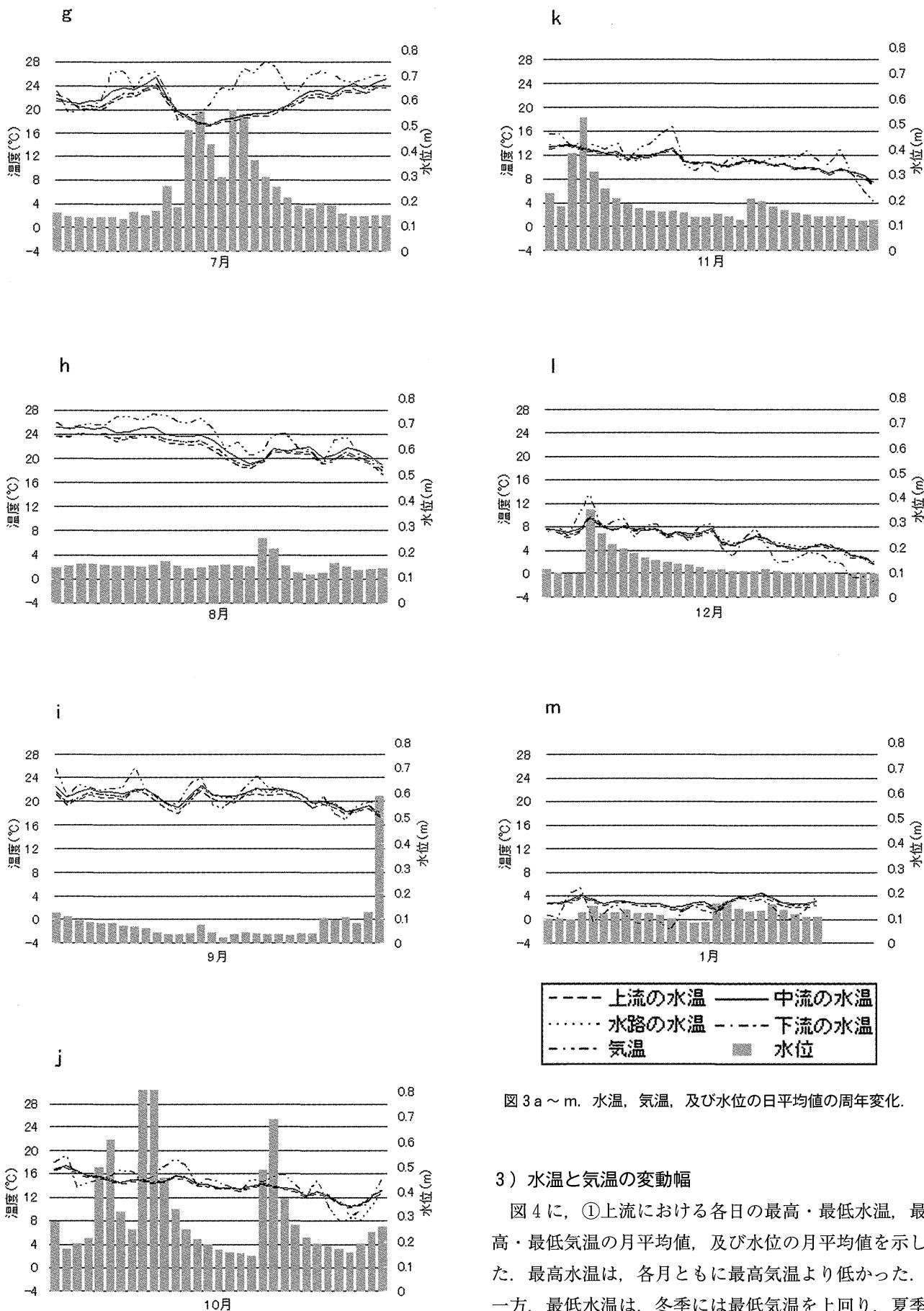


図 3 a ~ m. 水温、気温、及び水位の日平均値の周年変化。

### 3) 水温と気温の変動幅

図 4 に、①上流における各日の最高・最低水温，最高・最低気温の月平均値，及び水位の月平均値を示した。最高水温は，各月ともに最高気温より低かった。一方，最低水温は，冬季には最低気温を上回り，夏季

には最低気温を下回り、それぞれ5月と10月に逆転が見られた。水温の変動幅は、6月に最高値(4.0℃)を、11月に最低値(1.6℃)を示した。

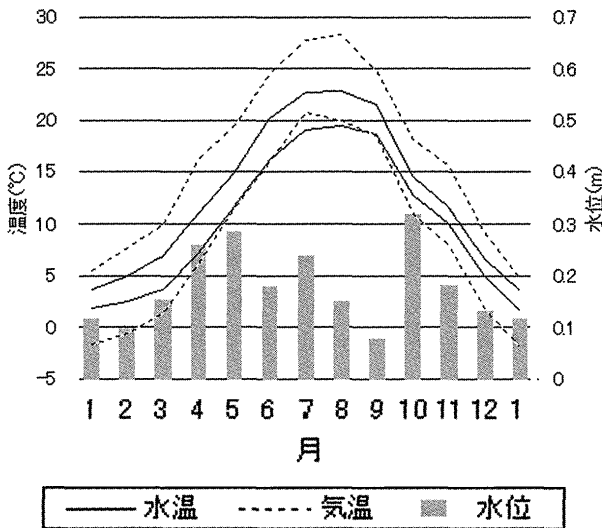
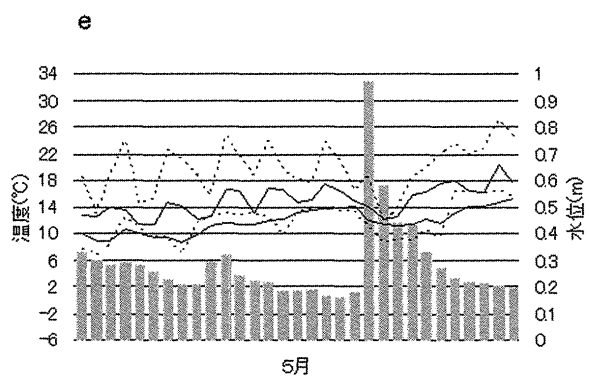
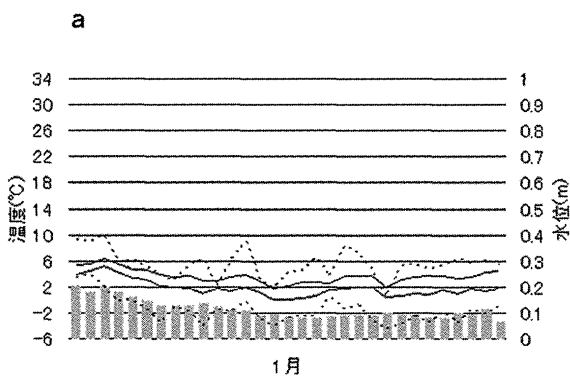
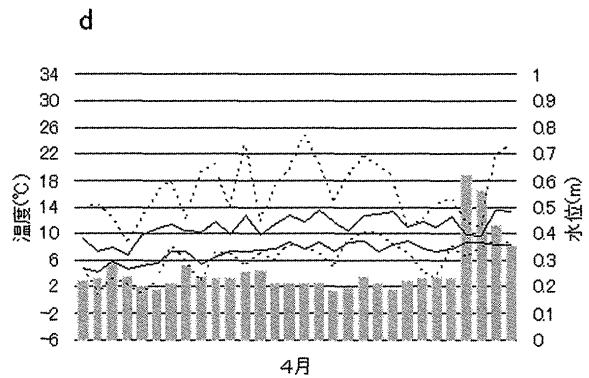
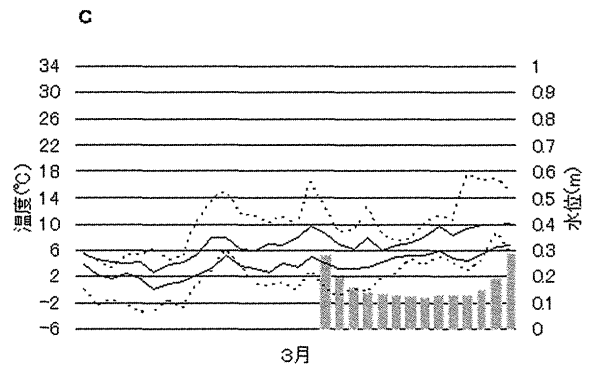
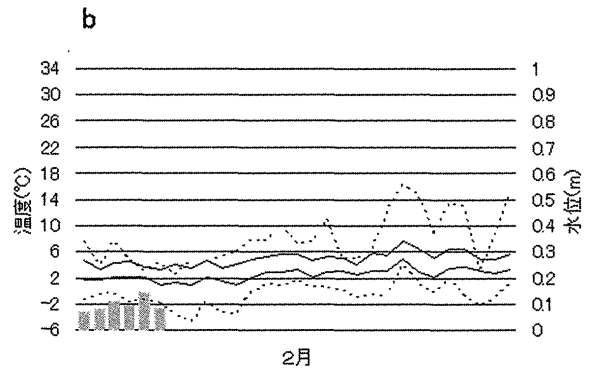
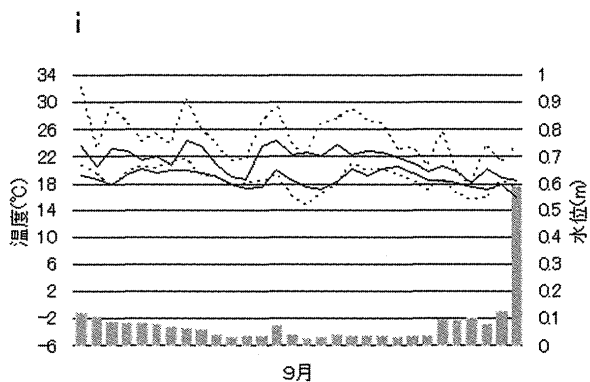
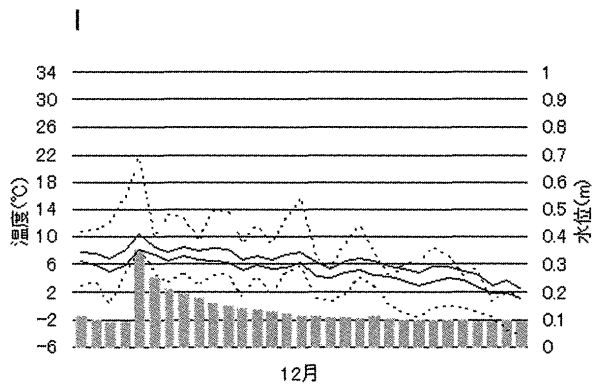
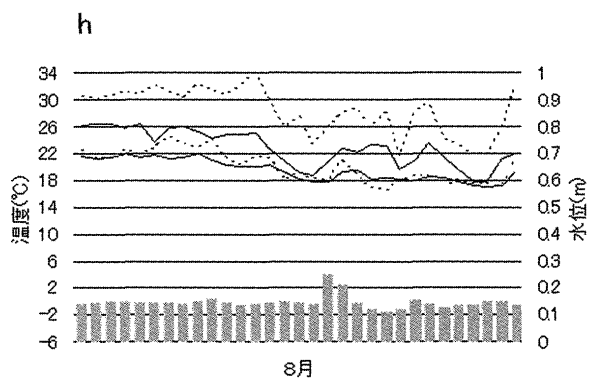
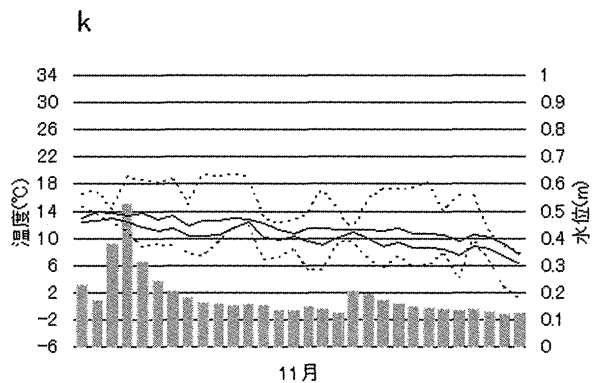
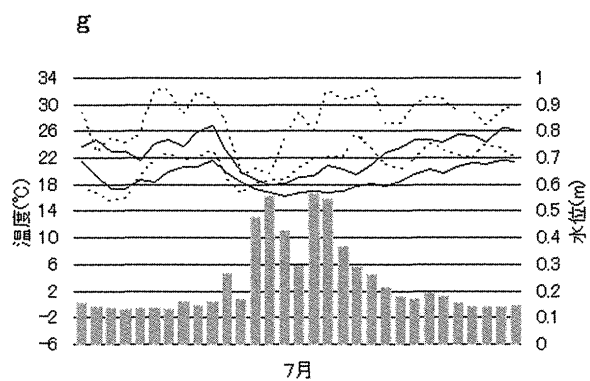
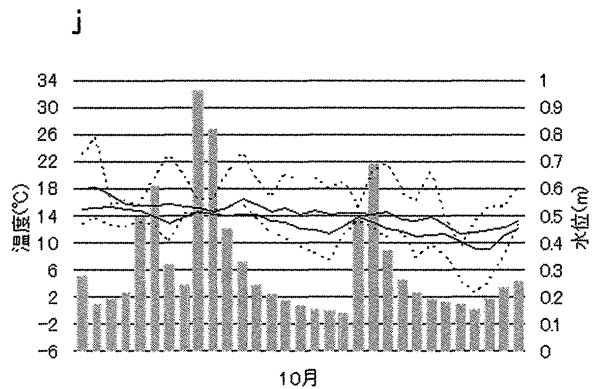
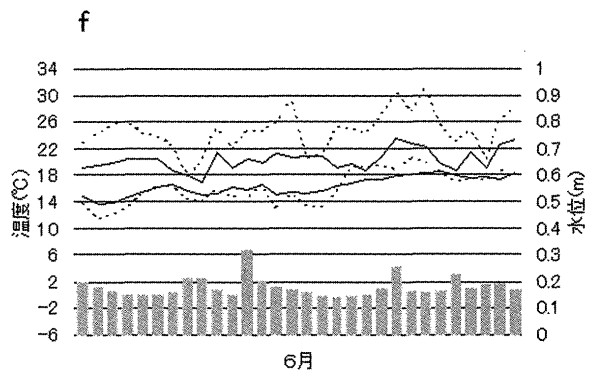


図4. ①上流における各日の最高・最低水温，最高・最低気温の月平均値，及び水位の月平均値の周年変化。

図5a～mに、①上流における各日の最高・最低水温，最高・最低気温，及び水位の日平均値を示した。最高水温は、主に15～17時に、最低水温は、主に5～7時に観測された(図示せず)。水温の変動幅は、気温の変動幅と強い関係が見られた。また水位が高い日には、水温の変動幅が小さくなる傾向が見られた。冬季の水温変動幅は小さく安定していたのに対して、夏季にかけて変動幅は増加した。また水量の低下する8～9月は、水温変動の幅が日によって大きく異なった。





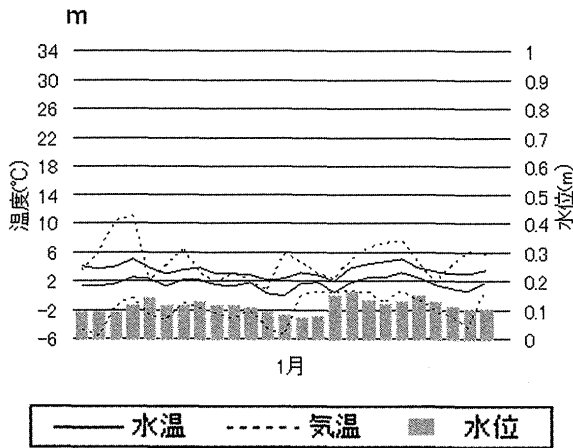


図5a～m. ①上流における各日の最高・最低水温，最高・最低気温，及び水位の日平均値の周年変化。

#### 4. 考察

##### 1) 広瀬川中流域の水温変動

本研究では，広瀬川の中流域において，水生生物の分布や生息に最も強い影響を及ぼす外部環境要因の一つである水温を周年にわたって計測した。また，本川中流にある堰や水力発電所の影響を調べるために，三居沢水力発電所取水口の上流域（①上流），発電所により取水が行われている区間（②中流），発電用水が広瀬川に戻された直後の区間（③下流），および発電所からの放水路内（④水路）の水温を計測して比較した。

調査を行った2004年と2005年の水位は，過去4年間の水位データと比較して夏季に水位が低く，10月に水位が高くなる傾向を示したが，全体的に顕著な差は見られなかった。また，過去12年間の気温データと比較した結果，例年気温のピークは7月であったのに対して，調査を行った2004年は8月であったという点を除き，大きな差は見られなかった。以上の結果から，本年の広瀬川の水温，気温，及び水位は，例年と同様の変動パターンを示したものと思われた。

広瀬川の中流域の水温は，1月に最低値を示し，8月に最高値を示したことから，水温は気温の季節的変動と大きく相関していることが考えられた。また水温は，水位が上昇した際などにも特徴的な変動を示したことから，水量の変化とも相関していることが考えられる（近藤ら，1995）。

##### ①上流と②中流の水温差

一般に，魚類の分布や生息，生存には，特に夏季の高水温や，冬季の低水温が大きな影響を及ぼすと考えられている（北野ら，1995；岡部ら，2003；末広，1951；柳井，1999）。

②中流では，夏季の水温が①上流よりも高くなる傾向を示した。そこで図6に，7～8月の②中流と①上流の最高水温とその差を示した。

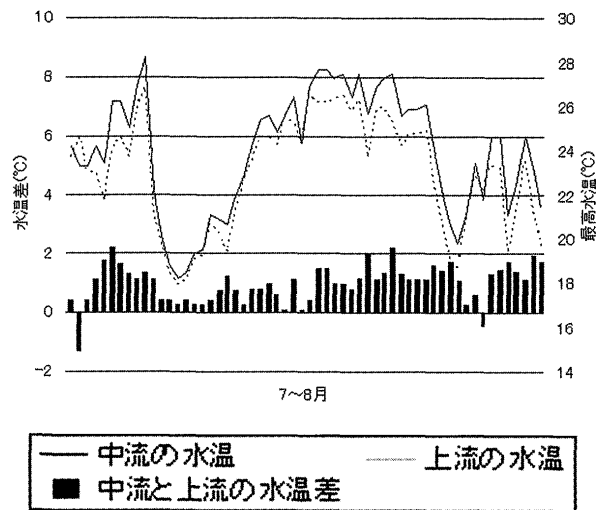


図6. 7～8月の②中流と①上流の最高水温とその差。

また②中流では，水温が最も低くなる12～1月にかけて，最低水温が①上流よりも高くなる傾向を示した（図7）。

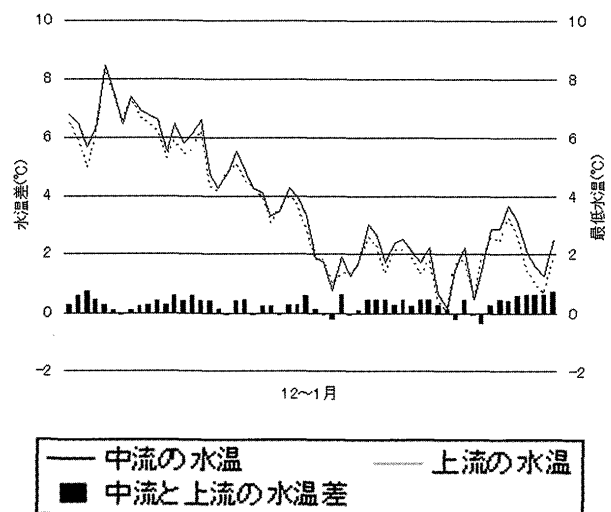


図7. 2005年12～2006年1月の②中流と①上流の最低水温とその差。

図に示したように、②中流の最高水温は①上流に比べて夏季には最大で約2℃ほど、また冬季には最大で約1℃ほど高かった。これは、水力発電所の取水によって②中流の水量が低下し、川の水塊に対する表面積の割合が増加したために、太陽放射や気温の影響をより大きく受け、その結果、水温が上昇したことが考えられる (Roy & Yitian, 2002; Wernerら, 2003)。また冬季には、②中流の最低水温が、①上流よりも低下する日も見られた。これらの日には、低温や強風、降雪などによって、逆に水塊に対する表面積の割合の増加が水温の大幅な低下を引き起こしたと考えられ、こうした水温の低下は、この区間の水生生物に対して大きな影響を及ぼすものと考えられる。

### ②中流と③下流の水温差

図8に②中流と③下流の5月から10月にかけての5分毎の水温変化と水温差を示した。両地点では5～10月にかけて顕著な水温差が見られ、多くの場合、②中流の水温が③下流よりも高かった。一方で、④水路と③下流の水温を比べると、水温差は一日を通して0.3℃程度と小さかったことから(図示せず)、③下流の水温は④水路からの放水による影響を強く受けており、これにより②中流との温度差が生じたことが考えられる。

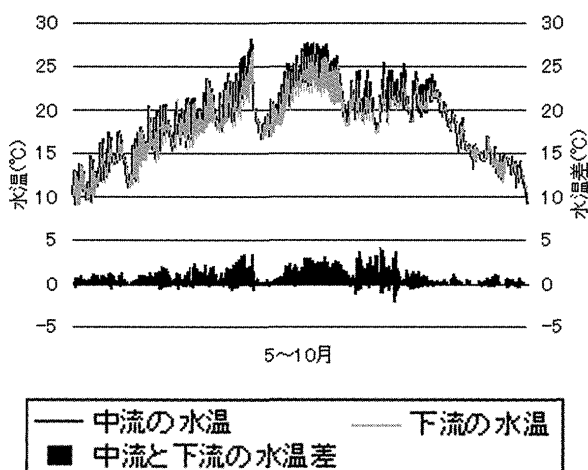


図8. 5～10月の②中流と③下流の水温とその差。

このように、水温及び気温の値は、冬季を除いては各月共に①上流が最も低く、②中流が最も高く、また③下流になると再び低下することが明らかとなった。

②中流の上流部には温泉や温排水などの温度の高い水の流入はほとんど無いことから、これは発電所の取水に伴い水量が低下したことによって②中流の水が暖められ、牛越橋の下流で④水路からの放水と混じりあうことによって③下流の水温が低下したものと考えられる。以上のことから、今回調査を実施した4つの地点では、①上流が広瀬川中流域の標準的な水温変化を表しているものと考えられた。

### ① 上流(郷六地区)の水温の日周変動

①上流の各日の最高・最低水温、最高・最低気温から日内変動の幅を算出したところ、水温は0.3～6.1℃、気温は1.0～18.7℃の範囲で変動していることがわかった(図5a～m)。水温の変動幅は、冬季に小さく、夏季に大きくなる傾向を示した。最高水温は、最低水温と比べて日々大きく変化しており、最高水温が高い日の水温変動幅は大きく、一方で最高水温が低い日の水温変動幅は小さくなる傾向を示した。このことから、一日の水温の変動幅は、最高水温の上昇の程度に依存していると考えられた。

## 2) 生物への影響

### ① 上流と②中流の水温差

一般に、ヤマメなど冷水性魚類の生息上限温度は、26℃程度と考えられている (Takami & Sato, 1998)。①上流では7月10日に最高水温が26.9℃となったことから、この区域は本種の生息域の下限に相当すると考えられる。ただし、ヤマメは水温上昇の間も流速の早い溶存酸素量の多い瀬の中に入ることや、水深があり水温が低く安定している水域あるいは湧水域に移動し、一時的にこの高水温をやり過ごすことが考えられている。このことからこの区域には、周年ヤマメが生息することも可能であると思われる。

②中流では、7月10日に最高水温が28.2℃となった。これは上記の①上流の値に比べると1.3℃の差であるが、②中流では取水による流量の減少によって河川の水深が浅くなることや、酸素供給量が低下する区間が多くなっていると考えられることから、上記の冷水性魚類の分布に及ぼす影響は①上流よりも大きいと考えられる。従って、北堰よりも下流～②中流の区間は、夏季の水温上昇に伴って冷水性魚類の生息域としては好適ではなくなるものと推察される。このことから、



北堰に設置されている魚道には、ヤマメなどの冷水性魚類が水温上昇に伴い上流域へ移動することを妨げないように、十分な機能を果たすことが求められる。

一般に河川では、水温が低下する冬季には、魚類の生存率が著しく減少することが知られている（柳井，1999）。特に魚類の卵や移動能力の小さい仔稚魚、あるいは魚類の餌資源である水生昆虫などは、水温が零下付近に低下することによって斃死することもあると考えられる。②中流では、水量の減少により、水温が大きく低下する場合があることが明らかとなった。このことから②中流では、周年にわたって相応の流量を維持することが重要であると考えられる。

## ②中流と③下流の水温差

②中流と③下流は、三居沢水力発電所の放水路からの放水によって水温差が生じる場合があることがわかった。従って、両区間の水温差によって魚類の分布や生息に影響が及ぶことが考えられる。例えば、下流から遡上してきた魚類がより水温に近い放水路を選択して迷入遡上する可能性が考えられる。晩夏から秋季にかけては、サケ科魚類であるサクラマスやシロサケが産卵場を目指して遡上行動を行う（上田，2006）。この時、本来であれば上流に向かうに従って低下するはずの水温が、牛越橋の付近では放水口を境に高くなっている場合があることがわかった。このようなことから、遡上個体が広瀬川ではなく④水路に迷入する場合があると考えられる。また、海と河川との間を回遊しない魚類であっても、季節・環境条件の変化に伴い河川内やその支流とを結んで小規模な移動・回遊を行う魚種が多く知られている（樋口ら，2005；川那部・水野，1992；中村，1969）。従って放水口前後の水温・流量差が、魚類の移動にどのような影響を及ぼすか、今後も注意深くモニタリング調査を行う必要があると考えられる。

## 5. まとめ

広瀬川中流域・郷六～三居沢地区に水温計を設置し、2004年1月1日～2005年1月25日まで水温を記録した。また、この地域にある堰や水力発電所が広瀬川に与える影響を考察した。

- (1) 水温は、8月に最高値（28.2℃，②中流）、1月に最低値（0.03℃，①上流）を記録した。
- (2) 水温の変動幅の月平均値は、①上流において6月に最高値（4.0℃）、1月に最低値（1.6℃）となった。
- (3) ①上流と②中流では、夏季に冷水性魚類であるヤマメの生存適水温を一時的に上回った。このため堰等の構造物が、ヤマメの移動に影響を及ぼしているかどうか、今後さらに調査を行う必要が考えられた。
- (4) ②中流等では冬季に水温が零下付近にまで低下する場合があります。魚類の卵や仔稚魚、水生昆虫の生存に影響を与える可能性が考えられた。
- (5) 三居沢水力発電所の放水が流れ込む広瀬川の上流側と下流側では、9月に最大で約4℃の水温差が生じ、魚類の移動に影響が及ぶことが考えられた。

## 6. 謝辞

本調査において、多大なご助力を頂いた宮城教育大学の佐藤康博氏、白鳥幸徳氏、ならびに気象データを引用させていただいた気象庁仙台管区气象台、水位データを引用させていただいた国土交通省水文水質観測所・落合観測所に心より御礼申し上げます。

## 7. 文献

- 樋口文夫，福嶋悟，宇都誠一郎（2005），大岡川の河川構造物が魚類流程分布に与える影響に関する調査報告，横浜市環境科学研究所報29，30-57
- 広正義（1976），揖斐川における魚類の種類と分布，名古屋女子大学紀要22，161-168
- 広正義（1977），木曾川の魚類とその分布，名古屋女子大学紀要23，167-178
- 古田健也，古屋康則（2006），長良川支流，伊自良川水系における魚類の分布，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学）30，9-19
- 川那部浩哉，水野信彦（1992），山溪カラー名鑑日本の淡水魚，山と溪谷社，719pp
- 北野文明，中野繁，前川光司，小野有五（1995），河川型オシロコマの流程分布に対する水温の影響および地球温暖化による生息空間の縮小予測，野生生物保護1（1），1-11
- 近藤純正，菅原広史，高橋雅人，谷井迪郎（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

- 水環境ネット東北編著 (2005), もっと知りたい! 杜の都・  
広瀬川, 株式会社ぎょうせい, 151pp
- 棟方有宗, 白鳥幸徳 (2005), 青葉山の広瀬川水系における  
魚類相, 宮城教育大学環境教育研究紀要 8, 153-  
161
- 中村守純 (1969), 日本のコイ科魚類, 資源科学シリーズ, 4,  
資源科学研究所, 東京, 455pp.
- 岡部正也, 関伸吾, 西山勝, 桑原秀俊, 佐伯昭, 山岡耕作 (2003),  
同一環境下で継代飼育されたアユ *plecoglossus altivelis*  
3 品種間における温度適応力の差異, 日本水産学会  
誌69(5), 717-725, 852
- Roy R.Gu, and Yitian Li (2002), River temperature  
sensitivity to hydraulic and meteorological  
parameters, Journal of Environmental  
Management 66, 43-56
- 仙台都市総合研究機構 (2000), 広瀬川ハンドブック, 仙台  
都市総合研究機構, 151pp
- 島谷幸宏 (2000), 河川環境の保全と復元—多自然型川づく  
りの実際—, 鹿島出版会, 198pp
- 末広恭雄 (1951), 魚類学, 岩波書店, 349pp
- Tatsuya Takami, and Hirokazu Sato (1998), Influence of  
High Water Temperature on Feeding Responses  
and Thermal Death of Juvenile Masu Salmon  
under Aquarium Settings, Sci. Rep. Hokkaido  
Fish Hatchery 52, 79-82
- 上田宏 (2006), サケの母川回帰機構に関する生理学研究,  
海洋と生物162, 28(1), 3-12
- Werner Meier, Cyrill Bonjour, Alfred Wuest, and Peter  
Reichert (2003), Modeling the Effect of Water  
Diversion on the Temperature of Mountain  
Streams, Journal of Environmental Engineering  
129(8), 755-764
- 柳井清治 (1999), サケ科魚類の生息と水辺林の機能—水辺  
環境の再生への取り組み—, 森林科学: 日本林学会  
会報26, 24-31

(平成18年9月29日受理)