

### 日本における平衡水温の経年変化分析

芝浦工業大学 正会員 ○宮本 仁志  
 芝浦工業大学 片桐 弘晴  
 前 神戸大学 松井 拓也

#### 1. はじめに

地球規模の気候変動は気温上昇や降水量変化を介して水資源や河川生態系を変容させる可能性が大きい。将来にわたる河川環境の適切な管理には、この影響を的確に考慮することが重要となる。本報では、気象量の変化に伴う河川環境の評価指標として平衡水温を選定し、一級水系揖保川下流での平衡水温と河川水温との関係を明らかにする。さらに、日本における過去 50 年間の平衡水温の経年変化特性を季節別・地域別に考究する。

#### 2. 平衡水温解析の概要

平衡水温<sup>1)</sup>は、ある一定の気象条件下で水表面を挟んで大気と水とが熱的平衡状態にあるときの水温である。平衡水温 $T_{eq}$ は次式により与えられる。

$$H_s + H_a = H_{sr} + H_{ar} + H_{br}(T_{eq}) + H_{se}(T_{eq}) + H_{la}(T_{eq}) \tag{1}$$

ここに、 $H_s$ : 水面での短波放射量,  $H_{sr}$ : 短波反射量,  $H_a$ : 長波放射量,  $H_{ar}$ : 長波反射量,  $H_{br}$ : 長波逆放射量,  $H_{se}$ : 顕熱量,  $H_{la}$ : 潜熱量である。短波放射量の算定にはアメダスデータによる近藤の式<sup>2)</sup>を、長波放射量には Brunt 型の式を、長波逆放射量には Stefan-Boltzmann の法則を、潜熱量と顕熱量にはバルク式をそれぞれ用いた。

#### 3. 解析対象地点と気象データ

日本の気象観測所のうち、上述の平衡水温算出に必要なデータがすべて入手できる気象官署は 156 地点ある。その中で、島嶼を除いた 133 地点を本報での解析対象とした。

解析では、気象統計情報から 133 の対象地点における緯度、気温、日照時間、相対湿度、現地気圧、風速のデータを取得する<sup>3)</sup>。対象期間は、1963 年 1 月 1 日から 2012 年 12 月 31 日までの 50 年間とした。得られたデータセットを用いて式(1)により平衡水温の算出を行う。

#### 4. 結果と考察

図-1 に揖保川での月平均河川水温<sup>4)</sup>と平衡水温の関係を示す。解析期間は 2006 年 5 月～2013 年 4 月である。これより、揖保川下流部では夏季(5～10 月)には平衡水温が河川水温を上回り、逆に冬季(11～翌 4 月)には下回ることがわかる。これは日本の多くの河川において一般的にみられる傾向である<sup>1)</sup>。揖保川でも同じ傾向が示されたことから、本報での解析値の精度が確認されたといえる。さらに、半旬(5 日間)平均で同様の検討を行ったところ、平衡水温が河川水温を上回り始める時期は 2 月中旬から 4 月上旬の間で年ごとにかかなり変動していた。これは上流部における積雪量が年毎に異なることに起因していると推察される。一方、平衡水温が河川水温を下回り始める時期は、2007 年を除いて安定しており、10 月下旬であった。

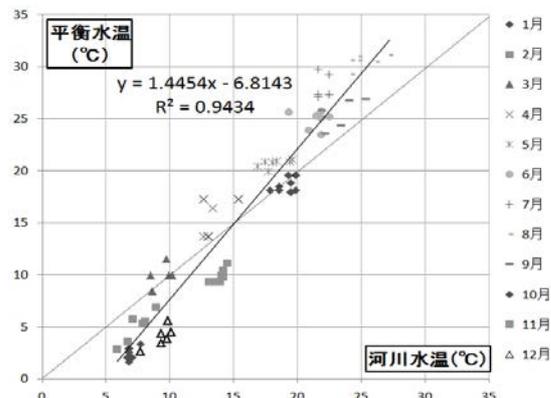


図-1 河川水温と平衡水温の関係 (月平均, 揖保川下流)

図-2 に熊谷観測所と秋田観測所での平衡水温の時系列を示す。図中には、年平均平衡水温と 5.5 年平均の平

平衡水温を併示した。検討の当初には年平均平衡水温を用いて回帰分析を行ったが、統計的信頼性が低い対象地点が相当程度あった。そのため太陽の黒点周期を参考にその半周期の 5.5 年平均の平衡水温で再解析を行い、統計的信頼性を丁寧に検定した。その結果、回帰直線の決定係数  $r^2$  が 0.2 を上回ると平衡水温の昇温・降温傾向が明確に直線近似されることが確認された。

図-2 の熊谷観測所( $r^2=0.40$ )は昇温が回帰直線で近似される例であり、一方、秋田観測所( $r^2=0.01$ )は近似されなかった例になる。なお、秋田観測所のように決定係数  $r^2$  が小さくなる対象地点の多くは、ほぼ同形で周期的に平衡水温が変動しており、ランダムに値がばらついていただけではなかった。以上より、本報では決定係数  $r^2$  が 0.2 を下回る対象地点については、以下の日本全体の経年変化傾向の検討では除外した。

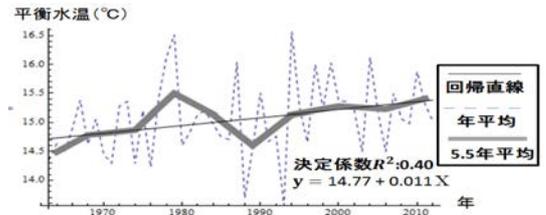
対象の 133 地点に対して以上のような回帰分析を年と季節ごと(春:3-5月, 夏:6-8月, 秋:9-11月, 冬:12-2月)に行った。その結果、日本における平衡水温の経年変化傾向は表-1 に示すような類型分類が可能となったことがわかった。これより、冬に関しては日本のすべての地方で昇温傾向を示していることがわかる。したがって、表左の分類呼称には冬の記述は含ませなかった。また、表には平衡水温の変化幅の 100 年換算値も併記した。これより年平均では平衡水温は約 0.98℃ 昇温している。気象庁によれば日本の気温はここ 100 年間で 1.14℃ 上昇しており<sup>3)</sup>、それと同程度の値が得られている。季節別の昇温幅をみると、春・夏に降温傾向が、一方、秋・冬には昇温傾向が示された。

図-3 は表-1 の類型分類をもとにして日本における平衡水温の経年変化傾向を日本地図にまとめたものである。これより、平衡水温の季節ごとの経年変化傾向には地域性があることがわかる。すなわち、北海道・東北地方では春に降温・秋に昇温、中部・関東・近畿の都市部では年・季節に拘らず昇温、西日本では夏降温といった特徴である。

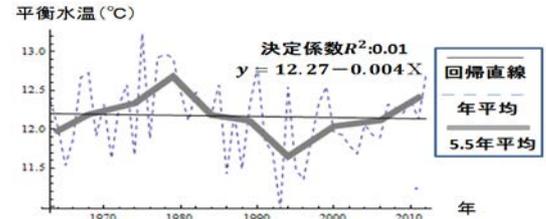
5. おわりに

本報では、気象量変化に伴う河川環境の評価指標として平衡水温を選び、河川水温との相関性を確認するとともに、日本における過去 50 年間の平衡水温の経年変化特性を季節別・地域別に明らかにした。日本における平衡水温の昇温幅は気温とほぼ同程度であり、季節や地域ごとに昇温・降温パターンに明確な特徴が見出された。

【参考文献】1) 土木学会水工学委員会環境水理部会編: 環境水理学, 第3章 熱・塩分の動態, pp.55-99, 土木学会, 2015. 2) 近藤純正: 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—, 350p, 朝倉書店, 1994. 3) 気象庁 HP(アメダス): <http://www.jma.go.jp/jp/amedas/> (2015/03/21: 接続確認). 4) 浦野仁志, 宮本仁志, 前羽 洋, 戸田祐嗣: 河川流域の流水水温形成における基底流水温の影響について, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, pp.I\_1681-I\_1686, 2013.



(a) 熊谷観測所



(b) 秋田観測所

図-2 平衡水温の経年変化

表-1 日本における平衡水温の経年変化傾向の類型分類

回帰分析結果 判別表	年	春	夏	秋	冬
全体上昇	↑	↑	↑	↑	↑
春下降・秋上昇	-	↓	-	↑	↑
年・秋上昇	↑	-	-	↑	↑
秋上昇	-	-	-	↑	↑
春下降	-	↓	-	-	↑
年・夏・秋上昇※1	↑	-	↑	↑	↑
年・春・夏下降※2	↓	↓	↓	-	↑
春・夏下降※3	-	↓	↓	-	↑
年上昇※4	↑	-	-	-	↑
夏下降	-	-	↓	-	↑
冬のみ上昇	-	-	-	-	↑
周期的	-	-	-	-	-
平均温度変化(°C/100年)	0.97	-0.71	-0.34	1.86	1.40

※1 深浦観測所夏のみ、広尾観測所、高山観測所 秋×  
 ※2 松江観測所、佐世保観測所 秋↓含む、石巻観測所夏×  
 ※3 飯田観測所、宇都宮観測所 秋↑含む  
 ※4 人吉観測所春↑含む

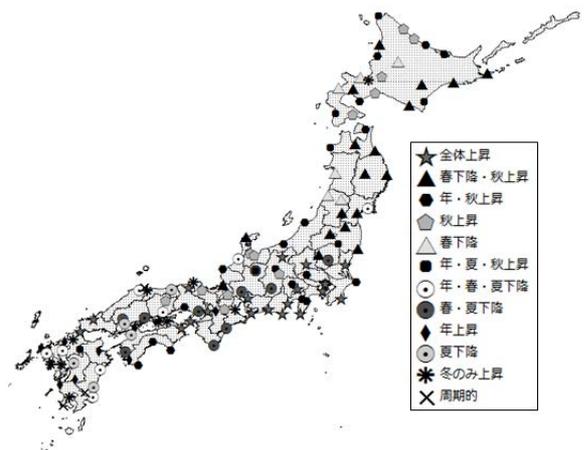


図-3 日本における平衡水温の経年変化傾向 (凡例の分類は表-1 参照)