

Mann-Kendall 検定を用いた日本における平衡水温の長期経年変化の分析

芝浦工業大学大学院 学生員 ○上村 晃平
芝浦工業大学 正会員 宮本 仁志

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もたらし、水資源や河川生態系を変容させる。そのため河川環境の適切な管理には、この影響を評価して将来への適応策を検討することが重要である。本報では、河川環境の評価指標として平衡水温¹⁾を取り上げ、日本全国の過去 50 年間の平衡水温の経年変化を解析する。ここでは、既往の研究²⁾で用いられた回帰分析に代わって、Mann-Kendall 検定³⁾を用いて平衡水温の上昇・下降傾向を検討した。

2. 対象地点

日本における気象観測所の中で、平衡水温の算出に必要なデータが入手できる 156 地点のうち島嶼などを除き、図 1 の赤点で示された 132 地点を解析対象にした。対象期間は、1963 年 1 月 1 日～2012 年 12 月 31 日の 50 年間とした。平衡水温を算出するのに必要なデータを気象庁 HP よりダウンロードし、平衡水温の経年変化を解析した。ここで、平衡水温を季節別に平均する際、春期：3～5 月、夏期：6～8 月、秋期：9～11 月、冬期：12～2 月でそれぞれ解析した。なお、平衡水温は負値で算出されることがあるが、河川水温は氷点下にならないため、その場合は 0℃に補正した。

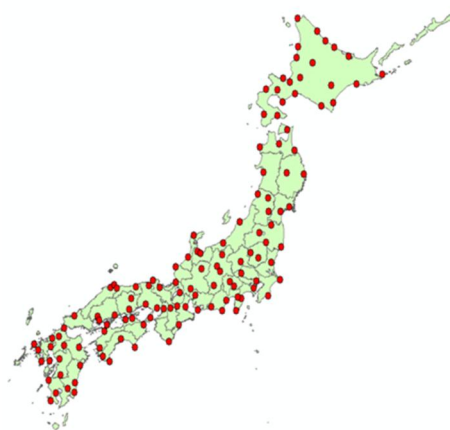


図 1 解析対象のアメダス気象観測所(132 地点)

3. 解析手法

3.1 平衡水温

河川は水面を介して大気との間で受・放熱を繰り返すが、水面での熱収支が支配的であるとの仮定のもとでは、ある程度の期間で平均すると河川水温は熱的平衡状態である平衡水温に漸近する。平衡水温は、緯度、気温、日照時間、相対湿度、現地気圧、風速を用いて算出される¹⁾。図 2 に東京における平衡水温の経年変化を示す。

3.2 Mann-Kendall 検定

河川水温などの水文量の発生確率は正規分布に従うとは限らないため、水温経年変化の検出にはノンパラメトリック法のひとつである Mann-Kendall 検定を用いた。これはある水文時系列が独立で同一の確率分布に従うという帰無仮説が成立するかどうかを検定する手法である。ここで、帰無仮説は水文時系列に変化傾向がないという仮定とする。有意水準 α により帰無仮説が棄却されると、水文時系列に変化傾向があると判断される。さらに、変化傾向がありと判断されたものに対して、式(1)で示される Sen's slope⁴⁾により変化傾向を検出する。ここで、Median は中央値、 x_k は k 年における水文データを表す。また、式(1)において $\beta > 0$ の時は上昇傾向、 $\beta < 0$ の時は下降傾向である。

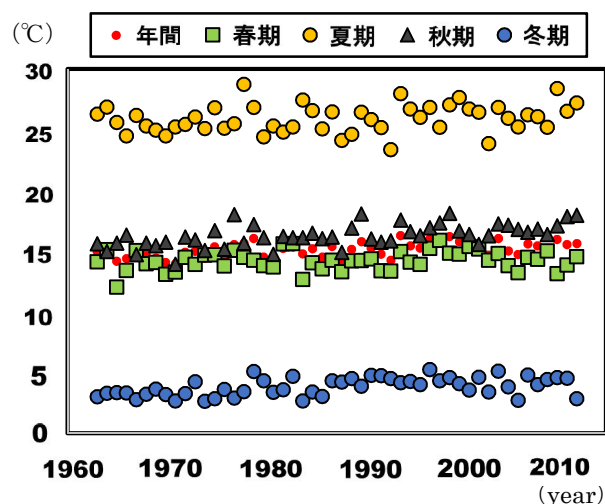


図 2 平衡水温の経年変化の例(気象観測所:東京)

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{x_i - x_j}{i - j} \right), \quad \forall j < i \quad (1)$$

キーワード 平衡水温, 気候変動, 水温経年変化, Mann-Kendall 検定, Sen's slope

連絡先: 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 宮本仁志 miyamo@shibaura-it.ac.jp

4. 結果と考察

4.1 地域別にみる平衡水温の変化特性

Mann-Kendall 検定で検出された Sen's slope を地域別に平均し、図 3 に 100 年換算で表示する。春期・夏期では水温下降した地域が多くみられ、秋期・冬期ではすべての地域で水温上昇がみられた。特に、秋期では冬期よりも 1~2℃程度大きな水温上昇が確認された。また、図 4 のように有意水準を変化させても、これらの季節的な傾向に大きな変化はなく、ここでの平衡水温の変化傾向は有意水準 5%程度の統計的信頼性をもつ。なお、有意水準を小さくすると、夏期では水温下降、秋期では水温上昇という季節的な変化傾向の特徴がより強く検出される。

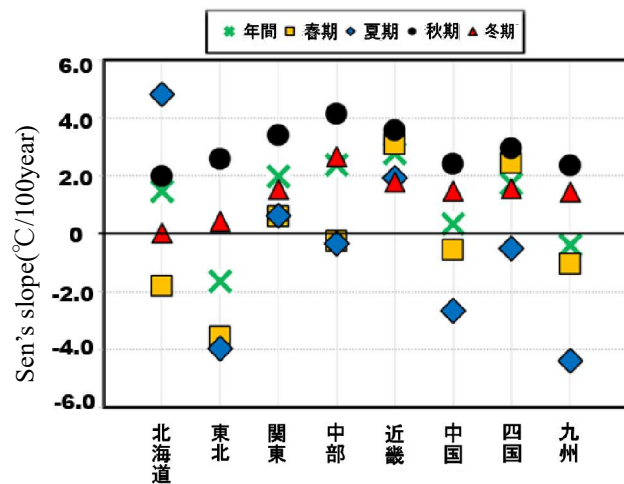


図 3 地域別の Sen's slope

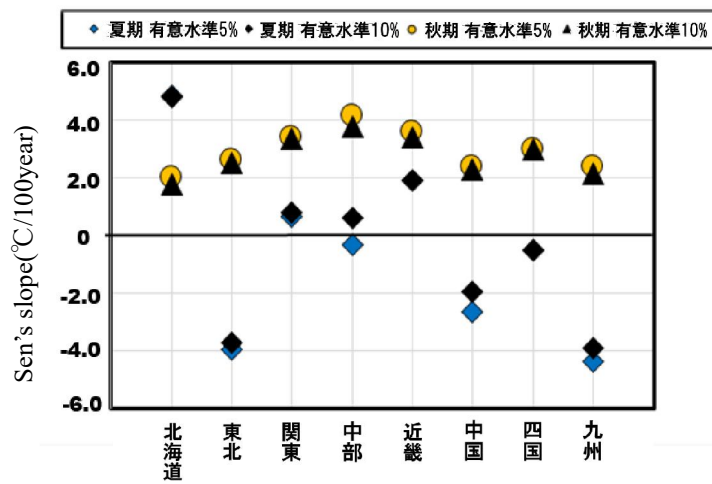


図 4 有意水準の違いによる比較(夏期・秋期)

4.2 クラスタ分析による平衡水温の変化特性

有意水準 5%で傾向検出した Sen's slope の大きさについてクラスター分析を施し、水温変化を 100 年換算で図 5, 6 に表示する。ここでは、任意の地点について Sen's slope の大きさが類似する 6 つのグループに分類した。図 5 より、夏期では水温下降が多くみられる一方で、太平洋沿岸部や大都市圏では水温上昇が確認される。また、秋期でも大都市では他地域と比べ相対的に大きな水温上昇がみられる。これらは、グローバルな気候変動の影響に加えて都市化に伴うヒートアイランド現象が要因と推察される。さらに図 6 の秋期での水温上昇は、解析対象地点の 7 割以上で上昇傾向が検出されたため全国的な広がりをもっており、地球温暖化の影響が大きいと考えられる。

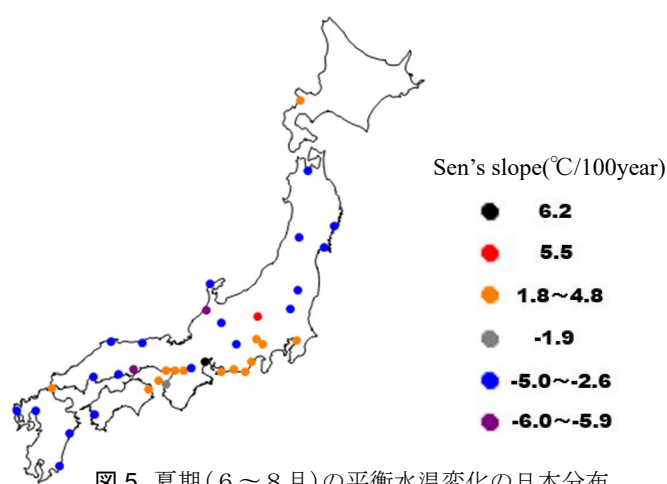


図 5 夏期(6~8月)の平衡水温変化の日本分布

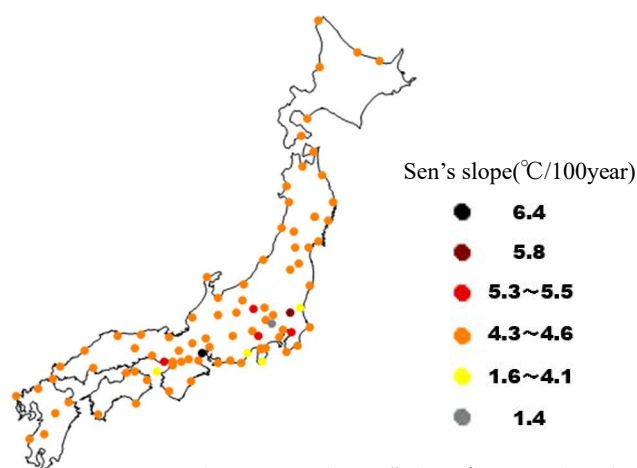


図 6 秋期(9~11月)の平衡水温変化の日本分布

* 図 5, 6 の日本列島は対象地点ではない島嶼を除いて表示する。

【参考文献】 1) 土木学会水工学委員会編:環境水理学, 第 3 章 3.3.3, 2015. 2) 宮本, 片桐: 河川平衡水温の経年変化に関する日本地図, 応用生態工学会, 第 19 回大会(郡山大会), 2015. 3) 西岡: Mann-Kendall 検定による水文時系列の傾向変動, 京都大学防災研究所年報, 第 46 号 B, 2003. 4) 西澤: 気象学分野におけるトレンドの検出について (http://www.gfd-dennou.org/arch/prepri/2008/kobe-u/081007_epasemi_seiya/nishizawa.pdf).