日本における年平均平衡水温の変化傾向の要因分析

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. 序 論

地球規模の気候変動や人間の経済活動は，気温上昇や降水量変化をもたらし，水資源や河川生態系など河川環境を変容させる．その河川環境を評価する上で河川水温は重要な指標であり，河川水温の変化を長期的・広域的な観点から把握することが重要となる．既往研究 [1]では，河川水面での熱収支から算出される平衡水温を河川水温の代替指標として用い，日本全国における年平均平衡水温の過去 50 年間の変化傾向を分析した．そこで本研究では，その解析結果の要因を検討した．

2. 手 法

平衡水温Teqとは水塊が水表面を介して熱的平衡状態になる時の温度であり，本研究では以下の水表面における熱収支式(1)により算出される．

$$(Hs\text{-}Hsr)+(Ha\text{-}Har)-Hbr(Teq)\pm Hse(Teq)\pm Hla(Teq)=0 \quad (1)$$

ここに，Hs：短波放射，Hsr：短波反射，Ha：長波放射，Har：長波反射，Hbr：長波逆放射，Hse：潜熱フラックス，Hla：顕熱フラックスである．

平衡水温の経年変化は，ノンパラメトリック法の一つである Mann-Kendall 検定を用い，有意水準 5%のもとで傾向を検出した．また，検出された時系列データに対して，その変化率を式(2)の Sen's slope で推定した．

$$\beta = Median\left(\frac{x_i - x_j}{i-j}\right) \quad , \quad \forall j < i \quad (2)$$

ここで，$Median$は中央値，x_kは k 年における水文・気象データである．

3. 対 象

日本の気象観測所 132 地点での気象データを気象庁 HP よりダウンロードし，50 年間（1963~2012 年）について平衡水温を算出した．算出に必要な気象量は，気温・日照時間・相対湿度・現地気圧・風速である．また，河川水温は氷点下にならないため，平衡水温が負値の場合 0℃に補正した．

4. 結果と考察

4.1 平衡水温の経年変化と長波放射

前報 [1]では，平衡水温の経年変化を Mann-Kendall 検定により解析し，変化傾向のある地点の変化率を図-1 のように分類した．結果として，平衡水温の経年変化の傾向検出割合は 38%となり，そのうち 29%が上昇傾向を，残り 7%が下降傾向をそれぞれ示した [1]．そのうち平衡水温の上昇傾向は，関東地方とそれより西部

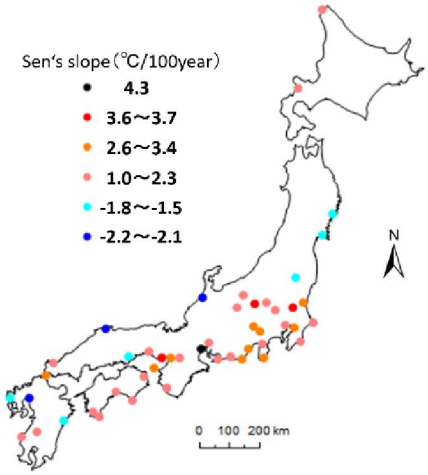

図-1 年平均平衡水温の Sen's slope[1]

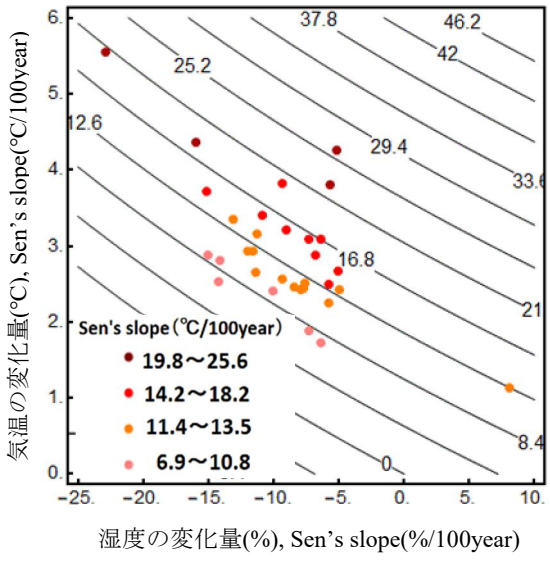

図-2 長波放射の感度分析と Sen's slope

キーワード　平衡水温，気候変動，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

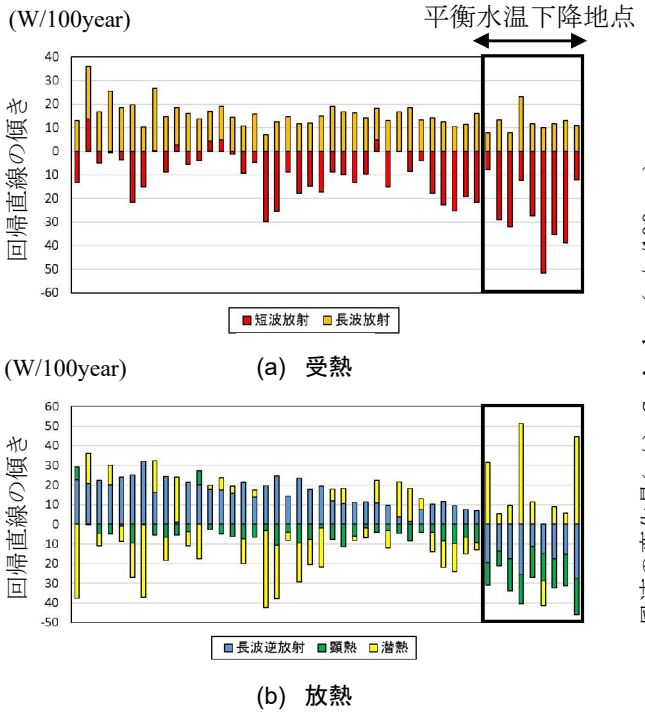

図-3 熱収支式各項の年平均値の経年変化

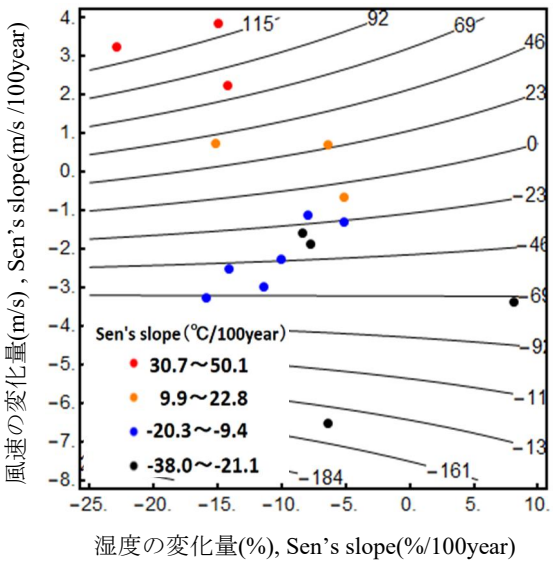

図-4 潜熱の感度分析と Sen's slope

の太平洋沿岸部に多くみられ，気温上昇など気象条件の変化が影響しているものと考察されている．

そこで，本研究では気温変化に大きく関連する長波放射の感度分析を行った．**図-2** の等値線は気温・湿度の変化量に対する長波放射 [1]の感度分析結果であり，一方，図中のプロットは解析対象地点の気温と湿度の変化率(Sen's slope)に対する長波放射の変化率を分類･表示した結果である．ここでは比較のために両者は重ねて描画されている．感度分析と変化率のプロットの比較より，両者の変化傾向とその値はほぼ一致し，後者のプロットの位置から解析対象地点での長波放射の増加は気温が上昇し湿度が下降する場合であることがわかる．

4.2 熱収支バランスと平衡水温の下降傾向

図-3 に，熱収支式(1)各項の年平均値変化率を回帰直線の傾きで示す．ここで，各項の変化率は水塊に対しての受熱・放熱に分けて示しており，また，図では左から右にかけて平衡水温の変化率が降順になるように地点ごとの値を並べた．特に，図の太枠で示した部分は平衡水温が下降する地点での変化率となる．**図-3** より，平衡水温が下降する地点では短波放射が大きく下降するか，もしくは潜熱が大きく上昇することがわかる．前者の短波放射の下降は当該地点における日照時間の減少が影響している．一方，後者の潜熱が上昇する気象条件については，**図-2** と同様に，評価式の感度分析と解析値の変化率の比較を行うことで気象条件の影響を検討した．**図-4** に結果を示す．感度分析より，潜熱の上昇は風速が上昇して湿度が下降する場合であることがわかる．平衡水温が下降する地点(図左上の赤色プロット)の解析値はこの気象条件と合致することから，潜熱が平衡水温の下降に影響するときは風速が上昇し湿度が低下する条件になることが確認される．

5. 結 論

本研究では，日本全国における年平均平衡水温の過去 50 年間の変化傾向について，その要因を分析した．その結果，平衡水温の上昇は，長波放射を介して気温が上昇し湿度が下降する場合にみられ，一方，平衡水温の下降は，短波放射または潜熱の変化を介して，日照時間の減少または風速の上昇・湿度の下降する場合にみられることがわかった．今後は，平衡水温の長期経年変化について季節ごとの詳細を分析する予定である．

【参考文献】1) 上村・宮本：Mann-Kendall 検定による日本での年平均平衡水温の長期経年変化の傾向分析，土木学会論文集 B1（水工学）Vol.74, No.4, I_577-I_582, 2018.