

花崗岩流域を対象とした流域スケールでの降雨流出プロセスと渓流水温の時空間的不均一性の解析

名古屋大学大学院生命農学研究科 ○山岡祐登・五味高志・小谷亜由美・猪越翔大・鯉江知樹

1. はじめに

渓流水温の形成は気温の影響に加えて、流域地形や地質による地下水の寄与や降雨流出といった水文学的なプロセスと関連する (Leach et al., 2023)。たとえば、サーモカメラを用いた河川表面温度の調査から、地下水の寄与により流域内夏期水温は 5~9℃の違いが確認されている (Iwasaki et al., 2024)。そのため、適切な水環境の管理を行う上で、水温の空間分布を把握することが重要である。しかし、降雨による水温変化など短期的な水温変動を評価するためには、流域内で複雑な土壌や岩盤からの流出プロセスの把握と水温観測を組み合わせる必要がある (Webb et al., 2008)。そこで本研究では、流域スケールでの水温の時空間的な不均一性の把握および、降雨イベントと水温変動の関係評価を目的とし、①流域内の水温と流量変化の把握、②先行降雨量などの降雨履歴の違いによる水温変動の評価を行うことを目的とした。

2. 研究方法

本研究は、愛知県豊田市野入町に位置する名古屋大学大学院生命農学研究科附属演習林稲武フィールド高トッケ地区の Y 流域 (3.4ha) を対象とした (図-1)。

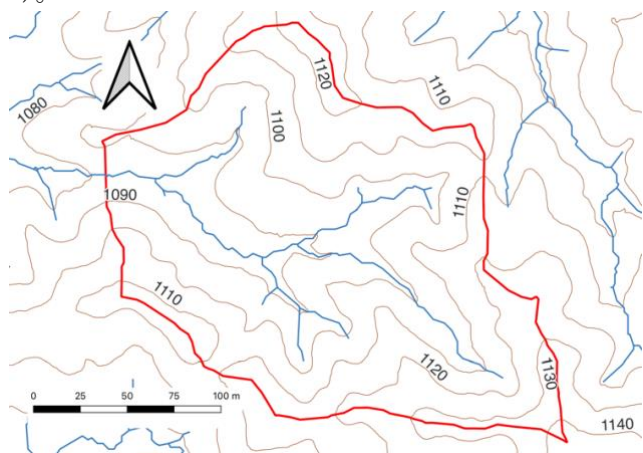


図-1 Y 流域地図

対象流域は本流と湧水点 1 箇所と 3 支流 (支流 1 : 0.5ha、支流 2 : 0.6ha、支流 3 : 0.6ha) で構成される。基岩は主に先新生代の角閃雲母花崗岩からなる。植生は主に 38~41 年生のヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) 人工林、57、58 年生のカラマツ (*Larix kaempferi*) 人工林、39 年生のスギ (*Cryptomeria japonica*) 人工林

で、一部天然生のアカマツ (*Pinus densiflora*)、サワラ (*Chamaecyparis pisifera*) が見られる。流路延長は 263m、平均流路勾配は 13 度、平均水路幅は 36cm、平均水深は 2.6cm であり、下流部は瀬や淵で構成されている。

流域内の水温と流量の空間分布を把握するために、2024 年 8 月、9 月、11 月、2025 年 3 月に本流 12 地点で流速、川幅、水深の測定を行い、流量を算出した (志水, 1999)。各地点の EC と水温は携帯用水質測定器 (WTW Multi 3510 IDS) を用いて計測した。2014 年の航空機 LIDAR データから 1mDEM を作成し、ArcGIS の Spatial Analysis から全体流域、各支流の斜面方位割合、2024/6/1~11/14 の日平均日射量を算出した。

流域内の連続観測として本流 4 箇所、各支流 1 箇所、湧水点 1 箇所の計 8 箇所に水温ロガー (Onset 社、誤差±0.5℃) を設置し 5 分間隔で計測した。流域末端には 6 インチパーシャルフリュームと水位計 (TruTrack) を設置し、10 分間隔で水位を観測し、流量を計算した。気象ステーション (300m 西に位置) において、気温、降水量を 10 分間隔で観測した。ハイドログラフから流量曲線の勾配が急変している点をもとに直接流出が生じている日と、基底流出を分けた (近嵐, 1984)。

水温と流量観測のデータを用いて熱量保存の法則から下流部の流量における地下水寄与量を算出した。

$$Q_S = Q_D \times \frac{T_D - T_M}{T_S - T_M}$$

ただし、ここでは推定地下水寄与量を Q_S 、下流流量を Q_D 、地下水温を T_S 、下流水温を T_D 、中流水温を T_M とした。また、湧水の水温を地下水温と仮定した。

3. 結果

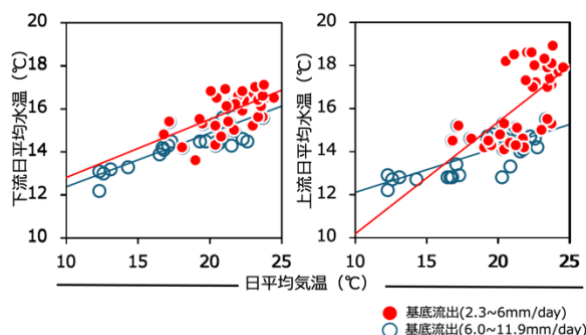
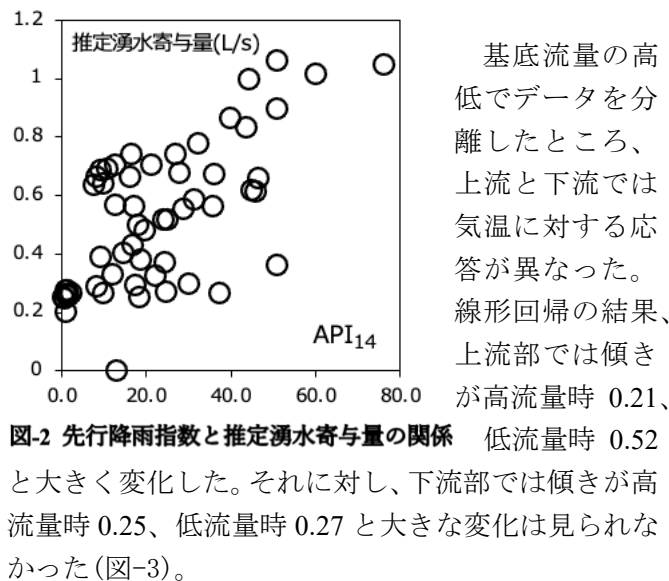
流域内の多地点観測から流量と水温に違いがあった。8 月 6 日の 14 日先行降雨指数は 1.0mm であり、そのとき流域末端の流量は 1.72L/s、中間部分 0.64L/s、上流は 0.07L/s であった。支流 1 は 0.15L/s、支流 2 は 0.42L/s、支流 3 は 0.44L/s であった。9 月 9 日の 14 日先行降雨指数は 46.5mm であり、そのとき流域末端の流量は 2.69L/s、中間部分 1.86L/s、上流は 0.03L/s

であった。支流1は0.31L/s、支流2は0.18L/s、支流3は0.87L/sであった。11月14日の14日先行降雨指数は5.9mmであり、そのとき流域末端の流量は2.31L/s、中間部分0.49L/s、上流は0.16L/sであった。支流1は0.37L/s、支流2は0.34L/s、支流3は0.56L/sであった。

日射量は、流域全体は15.0(MJ/m²)、支流1は16.6(MJ/m²)、支流2は13.6(MJ/m²)、支流3は15.9(MJ/m²)であった。

流域内の多地点での水温の連続観測から、時系列変化にも違いがみられた。無降雨時に日最高水温は2024年8月3日に観測され、流域末端で17.5℃であり、上流は18.5℃、湧水は12.6℃であった。日最低水温は2025年2月19日に観測され、流域末端で1.9℃であり、上流は1.1℃、湧水は6.6℃であった。

水温データと流量データを元に、下流における推定地下水寄与量を計算したところ0.5~2.7(mm/day)であった。地下水の寄与量は、先行降雨指数と正の相関がみられた(図-2)。



4. 考察

本流の流程で水温に空間的な不均一性が生じる原因

として、湧水、支流の流入による流量変化が一因であると考えられた。花崗岩流域では、湧水の流入による流量変化地点が多く(Onda,1994)、本研究の対象流域でも支流の流入点以外の流量増加区間は湧水の寄与によるものであり、河川水中の湧水の割合が高い可能性が示唆された。推定地下水寄与量は、先行降雨量と正の相関が見られ、降雨の浸透に伴う地下水位の上昇(Jan et al., 2007)により、湧水量が増加したと考えられた。

下流部で気温に対する水温の応答が安定しており、湧水の流入は水温を安定化させる働きがあると考えられた(Caldwell et al., 2020)。上流部では、下流と比較して流量が低く、気温の影響を受けやすいと考えられる。しかし、降雨直後の高流量時は地下水位の上昇により、より深層の安定した水温の水(Hare et al., 2021)が流出することで低流量時と比較して気温に対する応答が小さくなる可能性が示唆された。

引用文献

- Caldwell, T., Wolaver, B., Bongiovanni, T., Pierre, J., Robertson, S., Abolt, C., & Scanlon, B. (2020). Spring discharge and thermal regime of a groundwater dependent ecosystem in an arid karst environment. *Journal of Hydrology*, 587, 124947.
- 近嵐弘栄.(1984). 山地小流域における増水曲線の推定.
- Hare, D. K., Helton, A. M., Johnson, Z. C., Lane, J. W., & Briggs, M. A. (2021). Continental-scale analysis of shallow and deep groundwater contributions to streams. *Nature communications*, 12(1), 1450.
- Iwasaki, K., Nagasaka, Y., Ishiyama, N., & Nagasaka, A. (2024). Thermal imaging survey for characterizing bedrock groundwater discharge: comparison between sedimentary and volcanic catchments. *Hydrological Research Letters*, 18(3), 79-86.
- Jan, C., Chen, T., & Lo, W. (2007). Effect of rainfall intensity and distribution on groundwater level fluctuations. *Journal of Hydrology*, 332, 348-360.
- Leach, J. A., Kelleher, C., Kurylyk, B. L., Moore, R. D., & Neilson, B. T. (2023). A primer on stream temperature processes. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 10(4), e1643.
- ONDA, Y. (1994). Contrasting hydrological characteristics, slope processes and topography underlain by Paleozoic sedimentary rocks and granite. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, 15, 49-65.
- 志水俊夫 (1999) 水環境と水移動 河川流量 森林立地調査法編集委員会(編) 森林立地法 森の環境を測る 博友社 pp.176-179
- Webb, B. W., Hannah, D. M., Moore, R. D., Brown, L. E., & Nobilis, F. (2008). Recent advances in stream and river temperature research. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(7), 902-918.

Keywords: 渓流水温、降雨流出、流域スケール、時空間的不均一性