

ISSN 2435 - 0885

CODEN : SDSKF 6

島根大学生物資源科学部研究報告

Bulletin of the Faculty of Life and Environmental Sciences

Shimane University

No. 28 2023

島 根 大 学

Shimane University

Matsue, Japan

March, 2024

目 次 CONTENTS

[学術論文]

Research Papers

室田佳恵子・Rahman Mohammad Shahidur・多田明弘・宮崎博隆

島根県ブドウ品種「神紅」の副梢エキスが有する肌に対する機能性評価----- 1

武田育郎

間伐遅れの針葉樹人工林からの汚濁負荷流出の経年変化----- 6

武田育郎・深田耕太郎

降雨時における耕作放棄地からの汚濁物質の流出----- 13

上芝姫花・藤巻玲路・山下多聞

三瓶演習林における土壌小型節足動物の群集構造に及ぼす土壌団粒の影響----- 19

島根県ブドウ品種「神紅」の副梢エキスが有する肌に対する機能性評価

室田佳恵子^{1*}, Rahman Mohammad Shahidur¹, 多田明弘², 宮崎博隆²

Potentials of agricultural wastes of ‘Shinku,’ a new red grapes cultivar in Shimane Prefecture utilizing in skin care cosmetics

Kaeko Murota¹, Rahman Mohammad Shahidur¹, Akihiro Tada² and Hiroataka Miyazaki²

Abstract Effective utilization of agricultural wastes derived from local products is an important issue. In this study, we evaluated the potential activities of the lateral shoot extract of ‘Shinku,’ a new red grapes cultivar in Shimane Prefecture, which are discarded during cultivation. To utilize the extract in skin care cosmetics, DPPH radical scavenging activity and the inhibition of tyrosinase activity were determined. The relative DPPH radical scavenging activity to total polyphenol concentration of the lateral shoot extract were higher than those of the pruned cane and the fruit extracts. There were little differences among different grape cultivars, Shinku, Shine Muscat and Delaware, in the radical scavenging activity of their lateral shoot extracts. The extracts also showed the inhibitory effect against mushroom-derived tyrosinase activity with L-tyrosine and L-DOPA as substrates. The extract of Shinku showed the highest inhibitory effects among three cultivars. Quercetin was detected as its glycosides in the extracts and assumed as active antioxidant compounds. These results indicate that the lateral shoot extracts of Shinku and other grape cultivars are promising antioxidant materials.

Keywords: agricultural wastes, polyphenols, radical scavenging activity, Shinku, tyrosinase

はじめに

植物は多様な機能性化合物（フィトケミカル）を含み、これらは機能性食品や化粧品などの活性成分として様々なところで利用されている。「神紅」はベニバラードとシャインマスカットを交配して島根県が開発した大粒・赤色系ブドウの新品種である（坂本ら 2020）。ブドウの生産過程においては、剪定枝、副梢、摘果などが廃棄されるが、このような農作物生産過程での廃棄物を未利用資源と捉え、有効成分を探索することはSDGsの観点から重要である。

我々は、島根県農業技術センターの協力のもと、産学官共同研究として地域資源の有効利用を目指した。ヒトは日常的に太陽光線を浴びており、特に肌は紫外線に由来する酸化ストレスに曝露されている。紫外線曝露によって生じる一重項酸素やその他の様々な活性酸素種（ROS）はマトリックスメタロプロテイナーゼを活性化させ、その結果コラーゲンの分解が亢進することが肌のシワ・たるみなどの光老化の原因となる（寺尾 2016）。また皮膚に局在するメラノサイトは、酸化ストレスに対する生体防御反応としてメラニンを生合成するため日焼けやシミが生じる。メラニンはポリフェノールオキシダーゼであるチロシナーゼによりチロシンが酸化される反応を起点として生合成される。すなわち過度のメラニン合成を抑制する美白作用もまた、抗酸化作用の一種である。

¹ 島根大学生物資源科学部生命科学科

² POLA イノベーションセンター

* Corresponding author: murota@life.shimane-u.ac.jp

本研究においては、「神紅」の栽培過程で廃棄される未利用資源の有効活用を目指し、肌に対する機能性に関連した指標として抗酸化作用に着目した。未利用資源の中でも副梢から得られる抽出液に注目し、ラジカル捕捉活性およびメラニン合成を引き起こすチロシナーゼ活性に対する阻害作用を評価して、抗酸化成分素材としての有用性を見出したので報告する。

材料と方法

ブドウ未利用資源由来抽出液

神紅由来の剪定枝、副梢、果実の乾燥細片を50%エタノールに重量比30%で浸漬し20~25°Cで1ヶ月抽出したものを抽出液として用いた。また、シャインマスカット、デラウェアの副梢についても同様に抽出液を調製した（いずれもアルデバラン株式会社）。神紅由来の副梢抽出液については、その他の抽出液を入手する際にその都度新しいロットを入手したため、以降は入手順に抽出液にLot 1~3を付記した。総ポリフェノール（total polyphenol, TPP）濃度はFolin-Ciocalteu法（Singleton *et al.* 1999）を用いて定量した。標準物質には没食子酸を用いた。

ブドウ未利用資源由来抽出液の有する抗酸化活性評価

抽出液が有する抗酸化性の指標の1つとして、DPPHラジカル捕捉活性（Blois 1958）を測定した。神紅由来の剪定枝、副梢、果実、シャインマスカットおよびデラウェア由来副梢を用いた抽出液について、標準物質として用いたアスコルビン酸当量に換算したラジカル捕捉活性を算出した。

チロシナーゼ活性阻害作用は、酵素としてチロシナーゼ（マッシュルーム由来）を、基質としてL-チロシンおよびL-DOPAを用いて実施した（豊川ら 2008の方法を改変）。神紅、シャインマスカット、デラウェアの副梢抽出液を50%エタノールで10倍以上希釈してTPP濃度を一定にした。最も濃度が低かったデラウェア抽出液の10倍希釈液（TPP0.74 mg/ml）に揃え、他2種の抽出液は総ポリフェノール濃度が同じになるように15倍程度希釈した。基質であるL-チロシンあるいはL-3,4-ジヒドロキシフェニルアラニン（L-DOPA）に対してチロシナーゼ酵素を添加する直前に、これらの希釈液を添加して10 min反応後、直ちに475 nmの吸光度を測定した。メラニン生成が抑制

されたかどうかは吸光度の変化により評価した。ポジティブコントロールとしてアスコルビン酸溶液を使用し、同様の実験を行った。

副梢抽出液に含まれるポリフェノール化合物の推定

副梢抽出液中のポリフェノール化合物はHPLC-ダイオードアレイ検出器（SPD-M40 Diode array detector, SHIMADZU）を用いて定性分析した。10倍程度に希釈した抽出液をmethanol/acetic acid混合液（100:5, v/v）と等量で混合した後、15,000 rpmで10 min遠心した上清を分析用サンプルとした。また、抽出液の10倍希釈液を1 mL採取し、1 N塩酸を1 mL加えた後、フタ付耐熱試験管とヒートブロックを用いて約100°Cで1時間加熱して酸加水分解を実施した。その後1 N水酸化ナトリウム溶液を1 mL加えて中和した。加水分解液をmethanol/acetic acid混合液と等量混合した後遠心して不溶物を除去し分析用サンプルとした。また加水分解前の原液を生理食塩水を用いて加水分解液と同等に希釈したものについても同様に行い、プロファイルの比較を行った。HPLC分析はSakakibaraら（2003）の方法を一部改変して実施した。逆相カラム（TSK gel ODS-80Ts（4.6×150 mm）（東ソー））を用いて移動相A（methanol/H₂O/acetic acid（10:88:2, v/v/v））と移動相B（methanol/H₂O/acetic acid（70:28:2, v/v/v））によるグラジエント溶出系（流速1.0 ml/min）にて実施した。溶出プログラムは以下の通りである：0-5 min（A 100%）、20 min（A 70%）、50 min（A 65%）、70 min（A 60%）、95 min（A 0%）、95.1-105 min（A 100%）。

統計処理

定量データは平均値±標準偏差として示した。部位の異なる抽出液間、また品種の異なる抽出液間の統計処理はystat2002（医学図書出版株式会社）を用いてnon-repeated ANOVAならびにpost hoc test（Student-Newman-Keuls test）により実施した。P<0.05以下を有意差とみなした。

結果と考察

ブドウ未利用資源由来抽出液のDPPHラジカル捕捉活性の比較

神紅の副梢、剪定枝、乾燥果実の抽出液について、TPP濃度とDPPHラジカル捕捉活性を測定した結果を表1に

示した。TPP 濃度とラジカル捕捉活性はいずれも副梢で最も高く、これに対して、剪定枝は約 1/2、果実は約 1/8 の TPP 値を示した。抗酸化力の強弱は含有するポリフェノール総量に依存することが示唆された。副梢抽出液（以下副梢エキスとする）の Lot 1 および 2 の差は見られなかった。DPPH ラジカル捕捉活性はポリフェノール濃度と同様の順に活性が高いことが確認され、抽出液のラジカル捕捉活性は部位に関わらず TPP 濃度に依存することが示された。これらの結果を元に TPP に対するラジカル捕捉活性（比活性）を算出したところ、副梢からの抽出物は、剪定枝や果実の抽出液よりもポリフェノール濃度、ラジカル捕捉活性が高いだけでなく、比活性の高いポリフェノールを多く含むと考えられた。

ブドウの品種の違いによる副梢抽出液の抗酸化活性の比較

次にブドウ品種による影響を比較するため、シャインマスカットとデラウェアから得られた副梢エキスについて、同様に総ポリフェノール量、ラジカル捕捉活性を測定した（表 2）。

神紅サンプルについては、これ以前に用いた 2 ロット

よりもポリフェノール濃度、ラジカル捕捉活性ともに低かったが、比活性については同等以上の結果となった。シャインマスカット抽出液中の濃度と活性は、神紅抽出液よりやや低い程度であったが、デラウェアサンプルでは、いずれも有意に低い値となった。一方で、比活性については、いずれも同程度の値が得られた。

副梢エキスの抗酸化性が他の部位よりも高いことが示されたため、次にチロシナーゼ活性阻害作用を評価した。チロシナーゼは L-チロシンから L-DOPA への酸化反応を触媒するモノフェノラーゼ活性（クレソラーゼ活性ともいう）と、L-DOPA を酸化して L-DOPA キノンを生成するジフェノラーゼ活性（カテコラーゼ活性）を示すことが知られている。本研究では L-チロシンと L-DOPA をそれぞれ基質としたときの着色を測定し、副梢エキスのチロシナーゼ活性への影響を検討した。

図 1 には L-チロシンを基質とするモノフェノラーゼ反応における着色の比較を、図 2 には L-DOPA を基質とするジフェノラーゼ反応による着色の比較を示した。モノフェノラーゼ反応に対して副梢エキスはいずれも著しい阻害作用を示した。ジフェノラーゼ反応は酵素添加直後より着色が進行するため、10 min の反応後の着色の抑制

表1 神紅由来未利用資源抽出液の総ポリフェノール濃度とDPPHラジカル捕捉活性

	総ポリフェノール濃度 (没食子酸当量, mg/ml)	DPPHラジカル捕捉活性 (アスコルビン酸当量, mg/ml)	総ポリフェノール量あたり の比活性 (mg/mg)
副梢 (Lot 1)	15.9 ± 0.8 ^a	16.9 ± 0.9 ^a	1.06
(Lot 2)	16.1 ± 0.6 ^a	16.4 ± 0.5 ^a	1.02
剪定枝 (Lot 1)	2.19 ± 0.17 ^b	0.47 ± 0.03 ^b	0.216
果実 (Lot 2)	1.60 ± 0.11 ^b	0.56 ± 0.01 ^b	0.350

データは平均値±SDで示した（n=4-6, 異なる文字間に有意差あり, P<0.05）。

表2 3種のブドウ由来副梢エキスの総ポリフェノール濃度とDPPHラジカル捕捉活性

	総ポリフェノール濃度 (没食子酸当量, mg/ml)	DPPHラジカル捕捉活性 (アスコルビン酸当量, mg/ml)	総ポリフェノール量 あたりの比活性 (mg/mg)
神紅 (Lot 3)	10.4 ± 0.51 ^a	12.1 ± 1.23 ^a	1.16
シャイン マスカット (Lot 3)	9.65 ± 0.52 ^a	11.9 ± 1.47 ^a	1.23
デラウェア (Lot 3)	7.36 ± 0.52 ^b	8.77 ± 2.31 ^b	1.19

データは平均値±SDで示した（n=4-6, 異なる文字間に有意差あり, P<0.05）。

率はモノフェノラーゼの時よりも弱かったが、反応を観察したところ着色の開始が抑制されたものと考えられた。コントロール（抽出液添加なし）に比較して、副梢エキスの添加はいずれの品種においても有意な吸光度の低下を示し、チロシナーゼ活性に対する阻害作用を有することが示された。L-チロシンを基質とする場合と L-DOPA を基質とする場合では、着色の程度は吸光度で 2 倍程度であり、ジフェノラーゼ反応がより速やかに進行した。

3 品種のブドウ抽出液の中では、神紅抽出液を添加した時に反応が最も抑制されていた ($P<0.05$)。副梢エキスは 10-15 倍希釈したものを使用したが、このときの最終 TPP 濃度は 0.74 mg/ml (没食子酸当量) であった。これは DPPH ラジカル捕捉活性に換算すると 0.9 mg アスコルビン酸当量/ml となることから、0.9 mg/ml アスコルビン酸溶液によるチロシナーゼ活性に対する阻害効果を比較として測定した。その結果、アスコルビン酸溶液はいずれの抽出液よりもさらに強い阻害作用（モノフェノラーゼ阻害率 94%、ジフェノラーゼ阻害率 66%）を示した。このことから、チロシナーゼに対する作用はラジカル捕捉活性とは異なる作用機序で発揮されていると考えられた。

副梢抽出液に含まれるポリフェノール化合物の推定

植物中でポリフェノールは主に配糖体として存在しており、その種類は多様のため化合物の同定は非常に困難である。そこで抽出液に対して塩酸加水分解を実施することで、グリコシド結合を切断し出現するアグリコンのピークを元に含有するポリフェノール分子の推定を試みた。神紅副梢エキスを未処理で分析したところ、低分子ポリフェノールやフラボノイド配糖体と推定される複数のピークと合わせて 61 min 付近にケルセチンアグリコンと推定される小ピークが検出された（図 3）。抽出液を酸加水分解した結果、40 min にみられるピークなどいくつかのピークは減少あるいは消失し、ケルセチンと推定されるピークは増大した。このことから、神紅副梢エキスにはケルセチンが何らかの配糖体の形で含まれていることが示唆された。なお、今回の分析からはブドウに含まれる代表的な機能性成分であるレスベラトロールと推定されるピークは検出されなかった。

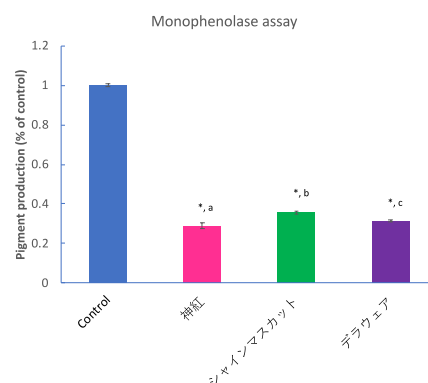


図1 チロシナーゼ活性に対する抽出液添加の影響

L-チロシンを基質としたモノフェノラーゼ反応により生じる着色をコントロールに対する相対値で示した。(n=3, *Control に対して有意差あり, $P<0.05$ 。ブドウ品種間の異なる文字間に有意差あり, $P<0.05$)

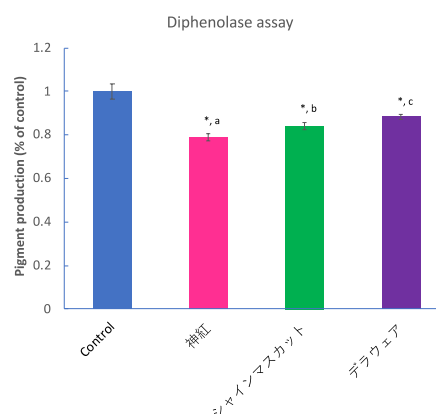


図2 チロシナーゼ活性に対する抽出液添加の影響

L-DOPA を基質としたジフェノラーゼ反応により生じる着色をコントロールに対する相対値で示した (n=3, *Control に対して有意差あり, $P<0.05$ 。ブドウ品種間の異なる文字間に有意差あり, $P<0.05$)

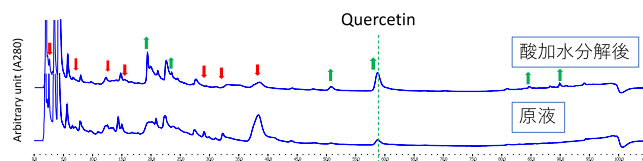


図3 神紅副梢エキスの HPLC クロマトグラム

Lot 1 の抽出液に対する塩酸加水分解後と原液との比較を示した。ポリフェノール検出に一般的に利用される 280 nm でのクロマトグラムを示している。酸加水分解で減少したピークを赤矢印で、増加したピークを緑矢印で示した。

次に、副梢エキスにはブドウ品種による違いがあるかを検討した。HPLCの分析結果より、いずれのブドウもケルセチン配糖体を含め、類似したポリフェノールを含んでいた(図4)。3品種の違いは分析前半に検出される極性が高い分子種にみられたが、著しい特徴などは示されなかった。

酸加水分解前後のクロマトグラム(図3)より、3品種の分析結果でいずれの品種でも検出されていたピークのうち、33 min 付近と 40 min 付近のピークに着目した。これらは酸加水分解により消失する主要なピークであり、ケルセチン配糖体を含んでいる可能性が高いと考えられた。そこで標準物質と比較したところ、33 min のピークはケルセチンの3位配糖体である quercetin-3-glucoside やルチン(quercetin-3-rutinoside)のピークが検出される保持時間とほぼ一致しており、糖鎖の種類は不明ながらもケルセチンの3位配糖体であると考えられる。3位配糖体は、フラボノイド B 環のカテコール構造が遊離して残されているために強い抗酸化性を示すことが知られており、これが副梢エキスの抗酸化性を担う活性分子の1つであると考えられた。

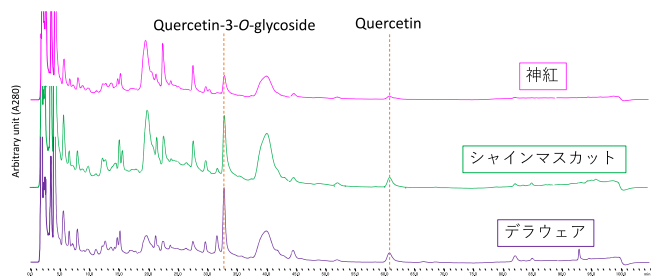


図4 3種のブドウ品種に由来する副梢エキスのHPLCクロマトグラム

ポリフェノール検出に一般的に利用される280 nmでのクロマトグラムを示している。標準物質であるケルセチンおよび、ケルセチン-3-グルコシドやルチン(ケルセチン3位配糖体として表記)が検出される保持時間を点線で示した。

まとめ

神紅副梢エキスは総ポリフェノール濃度、DPPHラジカル捕捉活性、ポリフェノールあたりのラジカル捕捉比活性が剪定枝や果実の抽出液よりも高かった。副梢エキスの総ポリフェノール濃度はブドウ品種により違いがみられたが、ポリフェノールあたりのラジカル捕捉比活性はほぼ同等であった。さらに、副梢エキスはチロシナーゼ

活性に対する阻害作用を有することが示された。チロシナーゼ阻害作用は神紅抽出液で最も強かったが、品種間の差異は小さかった。3品種全てにおいて、ポリフェノールの1つとしてケルセチン配糖体が含まれていることが示唆され、これが抗酸化性を発揮している主要な活性分子の1つであると考えられた。以上のことから、ブドウ副梢エキスは、抗酸化性物質を含む有効な未利用資源であることが示唆された。

謝辞

神紅および他品種ブドウ素材をご提供いただいた島根県農業技術センターの梅野康行様、片寄志帆様に感謝申し上げます。また、本研究成果を製品開発へ応用していただいた株式会社ポーラの重住久美子様ほか開発チームの皆様がこの場を借りて感謝申し上げます。

引用文献

- Blois, M. (1958) Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, **181**: 1199–1200.
- Sakakibara, H., Honda, Y., Nakagawa, S., Ashida, H., Kanazawa, K. (2003) Simultaneous determination of all polyphenols in vegetables, fruits, and teas. *J. Agric. Food Chem.*, **51**: 571–581.
- 坂本 太智, 倉橋 孝夫, 内田 吉紀, 安田 雄治, 持田 圭介, 中谷 美里, 梅野 康行, 姫宮 雅美, 杉山 万里 (2020) ブドウ新品種「神紅」の育成とその特性. 島根県農業技術センター研究報告, **47**: 29–38.
- Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M. (1999) [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, **299**: 152–178.
- 寺尾 純二 (2016) 生体における一重項酸素の生成と消去—酸化ストレスとの関わりを考える—. *ビタミン*, **90**: 525–536.
- 豊川 哲也, 与那嶺 都乃 (2008) 沖縄県産植物のチロシナーゼ阻害活性. 沖縄県工業技術センター研究報告書, **10**: 61–63.

間伐遅れの針葉樹人工林からの汚濁負荷流出の経年変化

武田育郎*

Changes in annual pollutant load runoff from coniferous plantations with delayed thinning

Ikuo Takeda*

Abstract Weekly water quality measurements and 15 intensive surveys during rainy days were conducted for 8 years in two coniferous forest watersheds (a watershed with delayed thinning and a reference). There is a tendency that the pollutant load runoffs from the watershed with delayed thinning were higher than those of the reference. In addition, thinning practice leaving abandoned lumber increased the base flow rate due to the absence of evapotranspiration by trees, and consequently the base flow load increased. These results suggest that the effect of delayed thinning in coniferous plantations is important for river water quality and eutrophication of lakes. This is because delayed thinning leads to a closed canopy that prevents sunlight from reaching the forest floor and undergrowth disappears, and the nutrient-rich soil surface would be subject to erosion.

Keywords coniferous plantation, delayed thinning, pollutant load runoff, water quality

はじめに

島根県東部を流れる一級河川の斐伊川では、人口の減少などで人為的な活動が少なくなっているにもかかわらず、明確な水質改善が見られていないが(武田 2023)、この理由の一つとして、針葉樹人工林の間伐遅れ現象が考えられている。間伐遅れである山林の内部は、林冠が閉鎖して日光が十分に入らないため昼間でも薄暗くなり、そのため、林内の下層植生が貧弱となって、栄養分の豊富な表土が流亡しやすくなることが懸念される。また、間伐遅れによる下層植生の貧弱化は、森林生態系の生物の多様性を損ない、森林が本来有している水質浄化機能を阻害しているのではないかと考えられる。

このような観点から、間伐遅れのため下層植生が貧弱になった流域と、対照流域として間伐遅れに到っていない流域を試験流域に設定して水質水文調査を実施し、既報(武田 2002a; 武田 2002b; 武田 2002c)では1998年

12月～2001年3月の期間における測定結果を報告した。その後、2004年には間伐遅れの流域において予期しない間伐(いわゆる「切り捨て間伐」)が行われたが、本論文では年次変動も考慮して1999年1月から当地での測定を終了した2006年12月までの結果より、この期間の汚濁負荷流出の経年変化を取りまとめた。

研究方法

1. 水質水文調査

本研究では、島根県東部のM山の中腹に位置する近接した2つの山林流域を試験流域に定めた(図1)。すなわち、「間伐遅れ」のため林内が昼間でも暗く、下層植生が貧弱なスギ人工林が主体の流域(第1流域)と、対照流域として「間伐遅れ」には到っておらず、下層植生が旺盛なヒノキ人工林が主体の流域(第2流域)を試験流域に設定した。流域面積は、第1流域は0.34ha、第2流域は1.26haであり、この2つの流域は南北に約800m離れていた。流域の平均勾配は、第1流域で0.438、第2流域で0.486であった。また、第1流域の植生は、71%がスギ人工林

であり、29%がヒノキ人工林であった。一方、第2流域では、流域内の60%がヒノキ人工林、13%がスギ人工林であった。その他、広葉樹天然林が22%を、アカマツ林が5%を占めていた。それぞれの人工林の1998年時点における林齢は、地権者からの聞き取りによると、第1流域のスギとヒノキが約20年、第2流域のスギが約50年、ヒノキが約10年であった。なお、第1流域の「間伐遅れ」は、島根県の林分密度管理図における位置づけからも明らかであった(武田ら 2009)。

流量については、両地点とも流域の最下流端に量水堰(三角堰)を設置し、越流水深を10分間隔でロガーに記録し、これを流量に計算した。また、降水量については、堰付近に設置した0.5mm転倒マス型自記雨量計を用いて測定した。

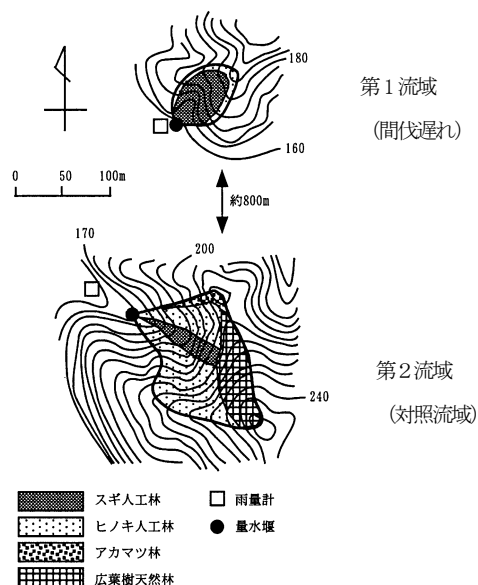


図1 試験流域

水質分析用のサンプルは、図1の量水堰において週1回の頻度での採水(定期調査)と、降雨時における自動採水器を用いた1時間~数時間間隔の採水(降雨時調査)を行った。採水した水の水質分析は、JIS法(並木編 1999)に準拠して行った。

2. 年間負荷量の推定方法

流域から流出する年間の汚濁負荷量については、流量によって大きく変化する水質のすべてを化学分析することは現実的ではないことから、両対数グラフを用いたいくつかの推定方法が提案されている(武田 2010)。このうち、最も一般的な「L-Q法」には、負荷量と流量の間のヒステリシスが表せない等の問題点があるとされているが、本研究では表1に示すように15回の降雨時調査を行ったので、流量の直接流出成分と基底流出成分に対応する、直接負荷量と基底負荷量を別々に計算する方法を用いた。すなわち、出水ごとの累加直接負荷量と累加直接流量を用いた「分離型 $\Sigma L-\Sigma Q$ 法」を採用した。ここで流量の成分分離については、出水前の流量を用いた水平分離とし、15回の降雨イベントについて、基底流出成分を除いた累加直接負荷量 ΣL と累加直接流量 ΣQ を求め、両者の回帰式($\Sigma L-\Sigma Q$ 式)を用いて年間の全ての出水に対する直接負荷量を計算した。一方、基底負荷量については、週1回の定期調査で測定した水質のうち、降雨の影響のないものは測定間隔の前後の1/2の期間の水質を代表していると仮定し、対応する基底流量を用いて計算した。

表1 降雨時調査における降雨イベントの諸元

イベント No.	測定期間	総降雨量 (mm)		最大降雨強度 (mm/h)	
		第1流域	第2流域	第1流域	第2流域
1	1999/5/24-5/25	53.5	57.0	9.0	9.0
2	1999/5/26-5/27	30.0	31.0	6.5	6.5
3	1999/6/16-6/17	76.5	82.0	11.5	13.0
4	1999/7/2-7/4	74.5	73.0	19.5	18.5
5	1999/10/31-11/2	41.0	41.5	9.0	7.5
6	2000/7/24-7/25	55.5	51.5	22.5	16.5
7	2000/10/23-10/24	7.0	6.5	2.0	2.5
8	2000/11/20-11/21	15.5	21.0	3.0	4.0
9	2002/3/26-3/27	59.5	58.0	7.5	7.5
10	2002/9/16-9/18	40.5	49.5	9.0	12.0
11	2002/11/17-11/18	7.0	7.0	3.0	3.5
12	2003/2/22-2/23	31.5	30.5	4.0	4.0
13	2003/5/7-5/8	35.0	38.0	6.5	8.5
14	2003/10/28-29	7.0	6.5	3.0	4.5
15	2004/7/9-7/10	63.0	66.0	16.5	18.5

間伐遅れの針葉樹人工林からの汚濁負荷流出の経年変化

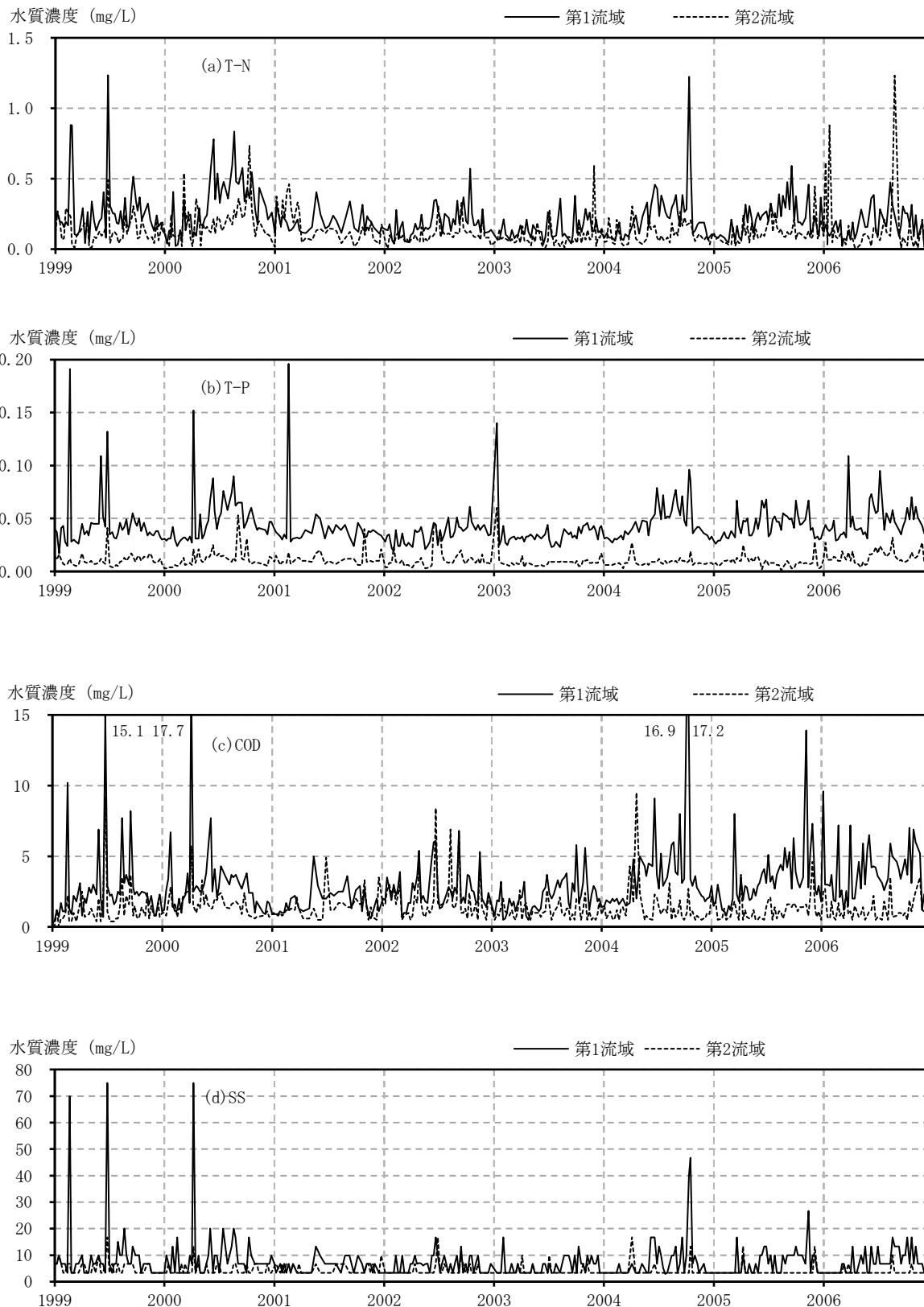


図2 定期調査の結果

結果と考察

1. 定期調査の結果

図2に、週1回の頻度で測定したT-N（全窒素）、T-P（全リン）、COD（化学的酸素要求量）、SS（懸濁物質）の2流域における水質変動を示した。粒子性成分を含むこれらの水質は、降雨による増水に伴って急激な上昇を示していたが、概して間伐遅れである第1流域の水質の方が第2流域を上回っていた。なかでもT-Pではその傾向が顕著で、第1流域の水質の方が明らかに第2流域を上回っていた。なお、SSについては、採水したサンプルのうち、250mLまたは150mLをろ過した後、通常用いられるmg/Lの水質値を計算したので離散的な時系列となった。また、表2に1999年～2006年のイオン性の水質も含めた平均水質を示した。これを見ると、多くの水質で第1流域の方が第2流域を上回っていたが、NO₃-N（硝酸態窒素）とPO₄-P（リン酸態リン）では第2流域の方がわずかに第1流域を上回っていた。

水質項目	第1流域	第2流域
T-N	0.213	0.127
NH ₄ -N	0.021	0.009
NO ₂ -N	0.004	0.002
NO ₃ -N	0.012	0.015
T-P	0.043	0.011
PO ₄ -P	0.025	0.027
COD	2.07	0.99
SS	7.3	4.2

2. 降雨時調査の結果

表1に示す降雨時調査を行った15の降雨イベントの中から、2003年5月7日～5月8日の水文量と水質の変動を図3と図4に示した。この降雨イベントにおける総降雨量は、第1流域で35.0mm、第2流域で38.0mmとなり、降雨時系列もほぼ同じであった。これに対して流量（mm/h）は、出水前は2流域でほぼ同じであったが、5月8日の午前4時以降における2番目の流量増加時では、第1流域の流量は鋭敏な変化を見せ、第2流域では降雨強度が第1流域よりも大きいにもかかわらず、緩慢な変化となった。

一方水質は、2流域とも同じような変動を示していたが、第1流域の方が第2流域よりも高くなる傾向にあった。なかでもT-Pでは、図2と同様に明らかに第1流域の方が第2流域を上回っていた。このような変動の特徴は、既発表（武田 2002b）の結果とも類似しており、間伐遅れによって下層植生が貧弱になると、降雨に対する流量の変化

が鋭敏になるとともに、水質も高くなる傾向を表しているものと考えられた。

3. ΣL-ΣQ式

表1に示す15の降雨イベントについて、累加直接負荷量ΣLと累加直接流量ΣQを計算し、両対数グラフにプロッ

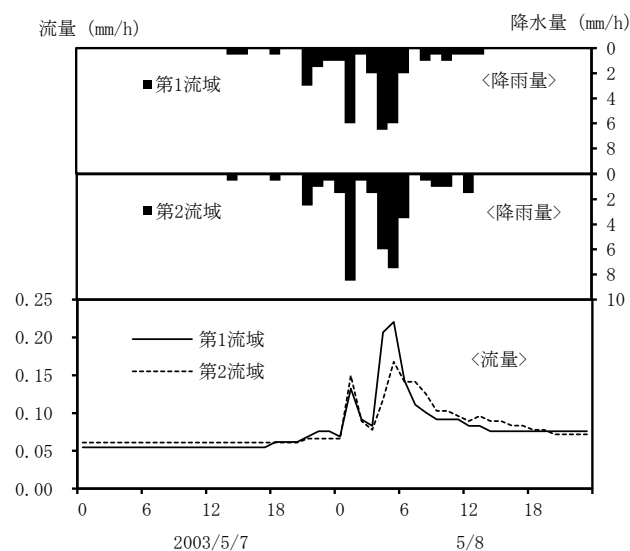


図3 降雨時の水文量の変化

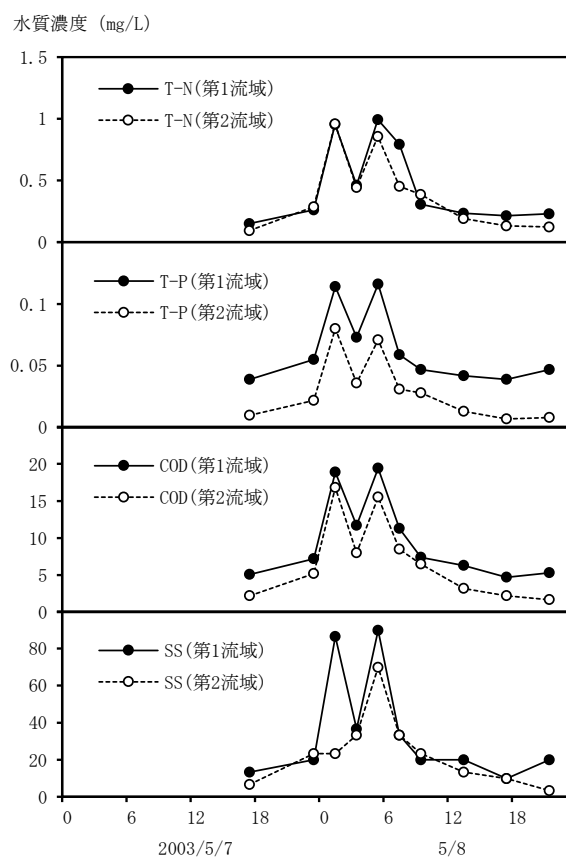


図4 降雨時の水質変化

トして回帰直線 ($\Sigma L - \Sigma Q$ 式) を求めた (図5). その結果, T-N, T-P, COD, SSともに統計的に有意な回帰式が得られ, T-P, COD, SSでは第1流域の回帰式が常に第2流域よりも上にあつた. 一方, T-Nでは ΣQ が0.3mm付近で直線が交わつていたが, それよりも高流量の範囲では第1流域の回帰式が第2流域よりも上にあつた. グラフでの回帰直線の傾きに相当する指数についてみると, COD以外では, 第1流域の方が第2流域よりも大きく, 間伐遅れの第1流域の方が, 流量増加に対する負荷量の増加割合が大きくなった.

4. 年間の水水量の変動

1999年~2006年の年間の降水量 (図6) は, 第1流域では1530~2024mm (平均1773mm), 第2流域で1510~2174mm (平均1832mm) であつた. それに対する流量 (図7) は,

直接流量では第2流域の方が第1流域よりも多くなる年もあつたが逆の大小関係となる年もあつた. 一方, 基底流量では, 2003年までは2流域でほぼ同レベルで推移していたものの, 2004年以降は第1流域の流量が増加し, 第2流域との差も拡大していた

5. 年間負荷量の推定

このようにして求めた $\Sigma L - \Sigma Q$ 式と水水量から, 年間の負荷量を推定した (図8, 図9). 上述のように直接流量では第2流域の方が第1流域よりも多くなる年もあつたものの, 直接負荷量は, 常に第1流域の方が第2流域を上回っており (図8), これは図5に示す回帰直線の上下関係を反映しているものと考えられた. 一方, 基底負荷量 (図9) も同様に第1流域の方が第2流域を上回っていたが, 第1流

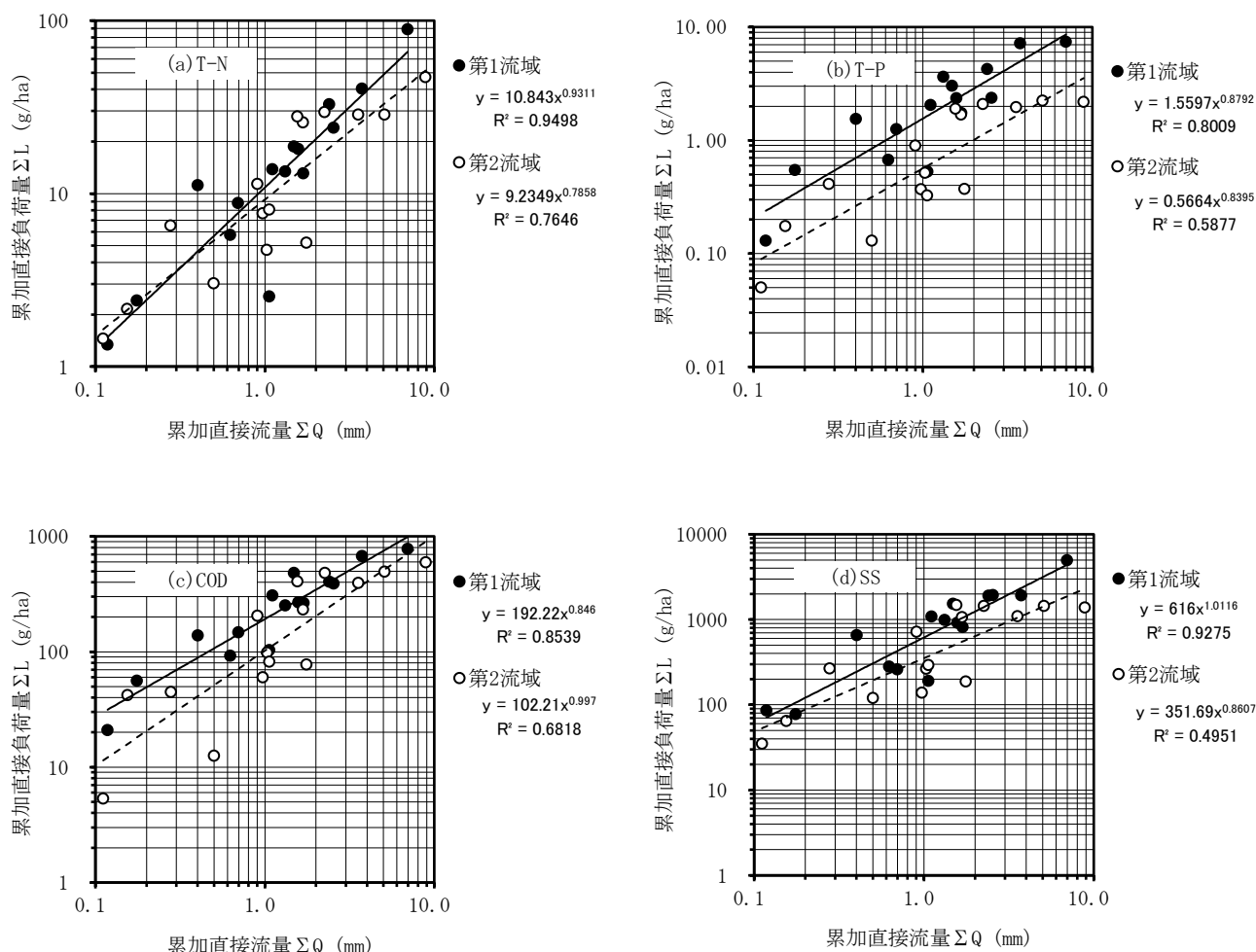


図5 累加直接負荷量 ΣL と累加直接流量 ΣQ の関係

間伐遅れの針葉樹人工林からの汚濁負荷流出の経年変化

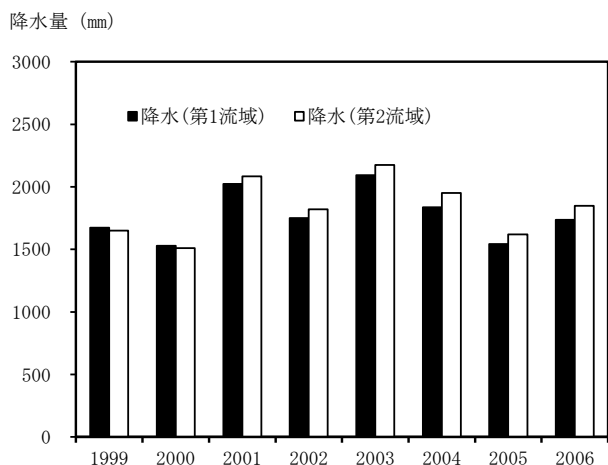


図6 年降水量の変動

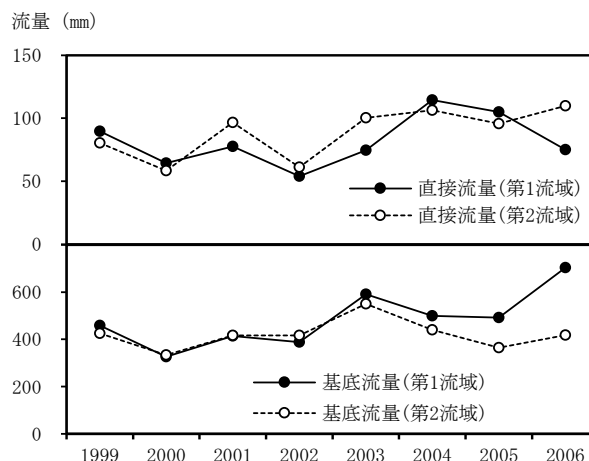


図7 年流量の変動

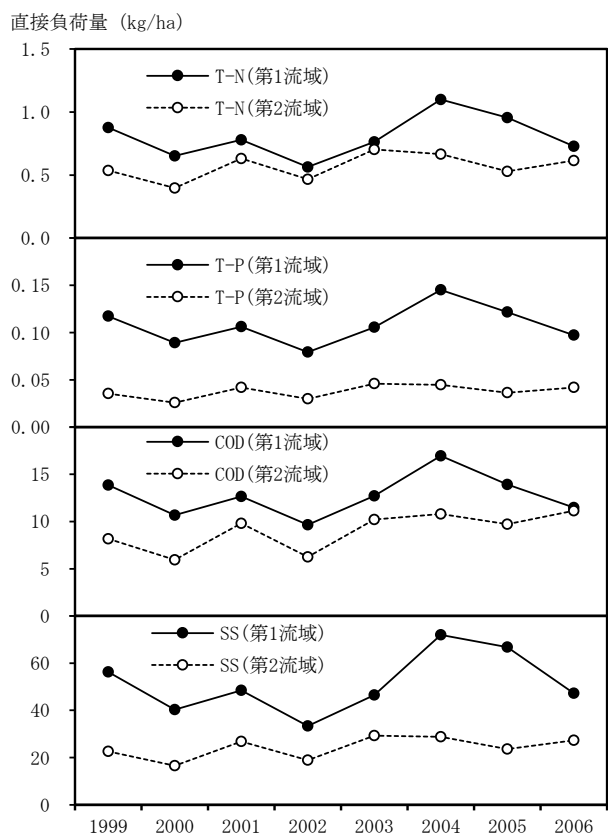


図8 年間の直接負荷量の変動

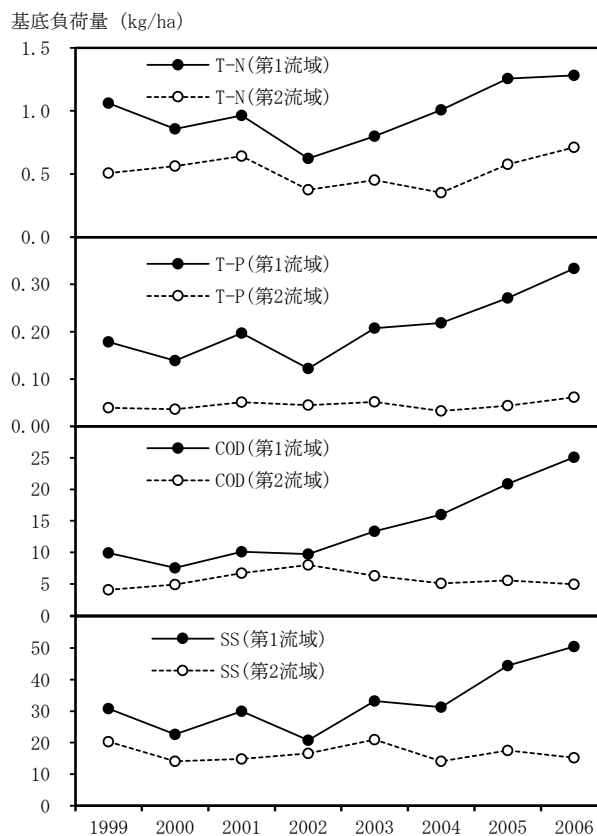


図9 年間の基底負荷量の変動

域では2004年以降は一様に増加する傾向にあり、第2流域との差も拡大していた。

このように2004年以降、第1流域の基底流量と基底負荷量が増加していた理由として、この年の4月に第1流域で行われた間伐（いわゆる「切り捨て間伐」）の影響が考えられた。既報（武田ら 2009）にて示したように、2004年4月以前の降雨時以外の流量は、2つの流域ではほぼ同レベルで推移していたものの、間伐後では第1流域の流量の方が常に第2流域を上回っていた。このことは、それまでは樹木からの蒸発散によって失われていた水が基底流量として流出するようになったためと考えられ、タンクモデルによる日流量の解析（戸田ら 2009）においても同様の結果を得た。図2では2004年以降で第1流域の水質に濃度低下がみられるわけではなかったため、こうした基底負荷量の増加には間伐後の基底流量の増加が寄与していると考えられた。

これらの結果より、原単位を考える上での基礎となる年間負荷量の平均値を計算すると表3のようになった。どの水質項目も間伐遅れの第1流域の方が第2流域を上回っており、このことは、間伐遅れ現象が汚濁負荷流出の増加に寄与していると考えられた。しかしながら、2つの流域では流域面積、植生、傾斜などが同一ではないという難点が残った。また、概して河川流域における水収支を完全に把握することは不可能であるが、本研究においても量水堰の下を流れる地下水や基岩（花崗岩）の亀裂から流れ出る水の存在も考えられた（武田ら 2009）。

水質項目	第1流域	第2流域
T-N	1.784	1.090
T-P	0.316	0.083
COD	26.80	14.70
SS	84.2	40.9

おわりに

本研究では、2つの針葉樹人工林において8年間の週1回の水質測定（定期調査）と15回の降雨時調査を行い、年間の負荷量を直接流出成分と基底流出成分に分けて求めた。その結果、針葉樹人工林の間伐遅れ現象は、林内の下層植生の貧弱化と表土の露出により、汚濁物質の流出増加に寄与していると考えられた。しかしながら、2つの流域で流域面積や植生が同じでなく、また、地下水流動などの水収支の把握が必ずしも十分でないとする難点も

残った。概して面源から流出する汚濁負荷量は、予測困難な気象現象や観測者が制御できない流域条件（流域面積、地質、植生、傾斜など）の影響を受けるので、得られた結果が着目する要因（本研究の場合は間伐遅れの有無）によるものであるかの十分な因果関係の解明には至らない場合が多いといえる。これらのことから、概してこうした測定結果の公表が十分でないところがあるが、今後はさらなる知見の集積が必要である。

謝 辞

本研究の一部（2001年3月まで）は、環境庁水質保全局水質管理課（当時）と島根県環境生活部環境政策課の委託を受けた。水質分析には生物資源科学部農業水利学研究室の卒業論文専攻生、修士論文専攻生の協力を得た。記して深甚なる謝意を表します。

引用文献

- 並木博編（1999）詳解 工場排水試験方法 改訂3版, 507pp. 日本規格協会, 東京.
- 武田育郎（2002a）針葉樹人工林の間伐遅れが面源からの汚濁負荷量に与える影響（I）, 水利科学 **265** : 1-22.
- 武田育郎（2002b）針葉樹人工林の間伐遅れが面源からの汚濁負荷量に与える影響（II）, 水利科学 **266** : 47-71.
- 武田育郎（2002c）針葉樹人工林の間伐遅れが面源からの汚濁負荷量に与える影響（III）, 水利科学 **267** : 63-84.
- 武田育郎・福島 晟・宗村広昭（2009）間伐遅れの針葉樹人工林における水文流出の特徴とその長期変動, 農業農村工学会論文集, **263** : 41-48.
- 武田育郎（2010）よくわかる水環境と水質, 244pp. オーム社, 東京.
- 武田育郎（2023）人口減少が特徴的な流域における河川水質の30年間の変遷, 環境技術, **52** : 41-49.
- 戸田政仁・武田育郎・宗村広昭・井手淳一郎（2009）間伐遅れの針葉樹人工林における水文特性とタンクモデル定数との関係, 応用水文, **21** : 1-9.

日本語抄録

針葉樹人工林の2つの流域（間伐遅れの流域と対照流域）で、週1回の水質測定と降雨時の集中的な測定を8年間行った。その結果、間伐遅れの流域からの汚濁物質負荷流出量は対照流域よりも高くなる傾向にあった。また、切り捨て間伐が行われた流域では、樹木による蒸発散がないため基底流量が増加し、その結果、基底負荷が増加していた。

降雨時における耕作放棄地からの汚濁物質の流出

武田育郎*・深田耕太郎

Outflow of pollutants from abandoned farmland during rainfall

Ikuo Takeda*, Kotaro Fukada

Abstract Runoff water during rainfall was collected at almost the same time in six watersheds (four abandoned farmlands, a paddy field and a forest), and the water quality between these points was compared. As a result, the water quality from abandoned farmland was sometimes much higher than that of paddy fields under cultivation, and the average water quality in 11 rainfall events increased as the rate of abandoned farmland increased. In addition, suspended solids from abandoned farmland during rainfall contained a certain amount of bioavailable phosphorus, and in some cases this concentration was much higher than that of phosphate. However, there is still a problem in using the forest watershed as a background for water quality.

Keywords abandoned farmland, forest, paddy field, water quality during rainfall

はじめに

現在、富栄養化現象が問題となっている閉鎖性水域において、窒素やリンの環境基準の達成率が低いままであることが解決困難な課題であると認識されている。こうした汚濁の原因に、点源（工場、事業所等）とともに面源（山林、水田、畑地、市街地等）から流出する汚濁物質の負荷量（原単位）が議論されているものの、十分な研究の進展に至っていないとする指摘もある（日本水環境学会 2012）。その主要な理由は、実態を詳細に把握した基礎データが少ないことが挙げられるが、概して面源から流出する汚濁負荷量は、予測困難な気象現象や観測者が制御できない流域条件（流域面積、地質、植生、傾斜など）の影響を強く受けるので十分な因果関係が得られず、公表されている知見が少ないのが現状である。

一方、近年増加している耕作放棄地は、上述の分類から外れており、議論の対象とされていない。耕作放棄地では肥料の投入がないため水質汚濁への寄与は小さいと

も考えられるが、特にリンについては、過去の施肥によって土壌のリン酸肥沃度が過剰になっている所が多いことが全国調査より知られており（小原・中井 2004）、人為的な管理がなくなった耕作放棄地では、降雨時の増水による流出が多くなることが懸念される。

一般に面源から流出する汚濁負荷量は、降雨時には晴天時（無降雨時）の100倍以上に増加することが知られているが、降雨時の水質は短時間に大きく変化するので、自動採水器を水文観測施設付近に設置して1時間～数時間間隔で流水を採集し、水質測定を行う方法が用いられる。しかしながら、得られた結果が着目する要因（本研究の場合は耕作放棄地の有無）によるものであるかどうかは、上述した観測者が制御できない流域条件の影響を受けるので、評価が困難である場合が多い。

このようなことから本研究では、1つの流域（あるいは比較のために2つの流域）に水文観測施設などを設置して降雨時の水質変化を1時間～数時間の頻度で重点的に測定するのではなく、耕作放棄地を含む多数の流域を対象とし、降雨時に増水した水をほぼ同時刻に採水し、これらの地点間の窒素、リン、有機物質等の水質を比較することとした。

環境共生科学科

*責任著者 (ikuotake@life.shimane-u.ac.jp)

また概して降雨時のリンの水質上昇の多くは懸濁物質によるものであるが、わが国の公定法であるJIS K0102（並木編 1999）で規定されているリンの水質項目はT-P（全リン）と $PO_4\text{-P}$ （リン酸態リン）であるため、下流の湖沼での影響を考慮し、海外では測定されることの多いBAP（bioavailable phosphorus：生物利用可能リン）を定量した。さらに、リン流出の主要な供給源と考えられる土壌中のリンについて、土壌のリン酸肥沃度の指標の一つである可給態リン酸を測定した。

研究方法

1. 対象流域

本研究で対象とした流域と採水地点の位置図を図1に、流域面積などの諸元を表1に示した。本研究では、島根県松江市内の6つの流域を対象として選んだ。すなわち、山林が多くを占めるものの山林以外では耕作放棄地のみである流域（放棄地1～4）と、比較のために山林が多くを

占めるものの山林以外では耕作中の水田のみである流域（水田流域）、それにバックグラウンドとして山林のみの流域（山林流域）である。研究の目的から考えると、耕作放棄地のみで構成されている流域（山林を含まない流域）を選定するのが望ましいが、平野部にある耕作放棄地では、近隣の人家や事業場などの影響が無視できず、また晴天時（無降雨時）の流水がない場合が多いため、山間部に位置する耕作放棄地を選定した。このうち放棄地2では、流域の末端において複数の流水があったが、最も水量の多い場所を採水地点とした。

ここで放棄地1～4については、2013年時点において、国土地理院の1/25,000の地形図（国土地理院 2009）で「田」となっているものの、現地では耕作放棄地となっている地点を選んだ。それぞれの地点での耕作放棄地になった時期については、地権者や近隣住民から十分な情報が得られなかったものの、5～10年前または10年以上前であった。なお、2023年発行の1/25,000の地形図においても、放棄地1～4は「田」となっていたが、2009年以降

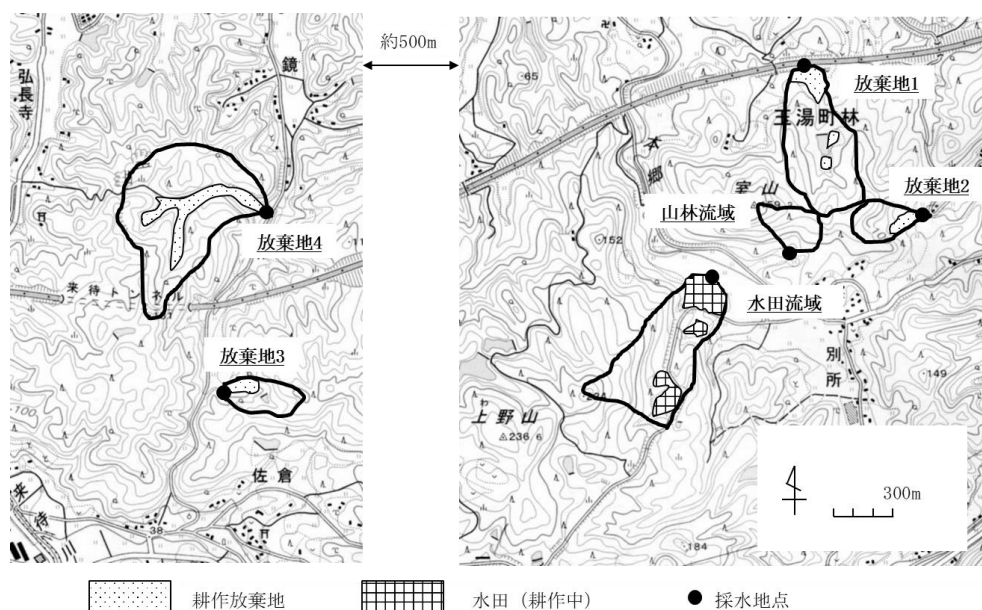


図1 対象流域

（国土地理院 2.5 万分 1 地形図に作図，太い黒線は流域界）

表1 調査対象流域

地点名	面積 (ha)				耕作放棄地 になった時期	備考
	耕作放棄地	水田	山林	合計		
放棄地1	1.7	0.0	13.3	15.0	10年以上前	上流にため池がある
放棄地2	0.7	0.0	3.4	4.1	5～10年前	流出口が複数ある
放棄地3	0.7	0.0	3.7	4.4	5～10年前	谷津田水田群の上流部分
放棄地4	3.5	0.0	21.9	25.4	10年以上前	小河川に沿った谷筋
水田流域	0.0	3.9	16.3	20.2	-	水稻耕作中
山林流域	0.0	0.0	3.5	3.5	-	林齢15-20年のスギ人工林

の耕作はなかった。

2. 降雨時調査

水質分析用のサンプルは、図1のすべての採水地点において降雨時に1回採水した。採水にあたり、気象情報などを参考に降雨強度ができるだけ大きい時刻となるようにし、また、同時刻の採水に近くなるように、可能な限り迅速に6地点の流水サンプルを収集した。水質分析は、JIS法（並木編 1999）に準拠して行った。降水量データについては、アメダス（気象庁 2023）で公表されている松江地点のデータを用いた。

3. BAPの測定方法

BAPの測定については、何らかの酸または塩基の溶液に懸濁物質を加えて攪拌し、それによって抽出される $PO_4\text{-P}$ の定量を行う方法がいくつか提案されているが、どの方法も一長一短があるとされている。このことから、本研究では海外において比較的多く用いられている水酸化ナトリウムを用いた方法（Sharpley *et al.* 1991）を採用した。すなわち、ろ過で用いたろ紙を0.1Nの水酸化ナトリウム溶液に入れて17時間攪拌した溶液の $PO_4\text{-P}$ 濃度を測定し、これを採水した流水サンプル（降雨イベント7～10

の4サンプル）の水質（mg/L）に換算した。

4. 可給態リン酸の測定方法

土壌の可給態リン酸は、Bray-2法（日本土壌肥料学会監修 1997）によって定量した。すなわち、0.1Nの塩酸溶液に土壌サンプルを入れて1分間攪拌した後の $PO_4\text{-P}$ 濃度を測定し、これを土壌のリン酸肥沃度として通常用いられている単位（ $mgP_2O_5/100g$ ）に換算した。土壌サンプルは2016年10月24日に流域の7地点で採集したが、放棄地1～4では耕作放棄地のエリア内の7地点にて、水田流域では水田のエリア内の7地点にて採集した。

結果と考察

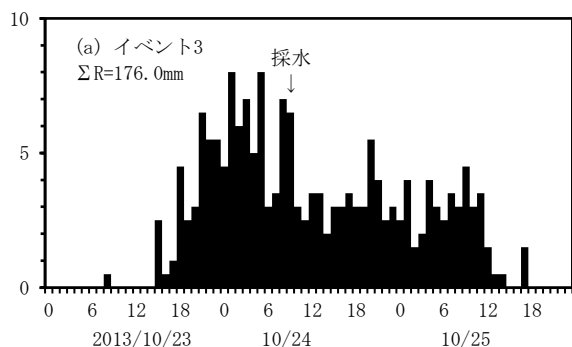
1. 降雨時調査の結果

表2に降雨時調査を行った11回の降雨イベントにおける採水時の降雨強度や総降雨量などを示した。採水は前述のように可能な限り降雨強度の強い時に行うこととしたが、必ずしも想定通りにならない場合もあった（図2）。

表2 降雨イベントの諸元

イベント No.	降雨期間	採水時刻	採水時の降雨強度 (mm/h)	総降雨量 (mm)	平均降雨強度 (mm/h)	最大降雨強度 (mm/h)
1	2013/5/29-30	5/30 6:41-7:20	0.8	21.5	0.82	4.5
2	2013/6/18-19	6/19 10:06-11:31	12.5	106.5	3.67	14.5
3	2013/10/23-25	10/24 8:01-8:41	7.0	176.0	3.38	8.0
4	2014/7/13	7/13 8:11-9:16	3.3	60.5	3.36	10.5
5	2014/8/15-16	8/16 9:04-9:46	0.5	50.0	1.79	7.0
6	2014/11/24-25	11/25 7:09-7:56	1.0	43.0	3.07	9.5
7	2015/5/12	5/12 13:58-14:46	1.5	22.5	2.81	7.5
8	2015/11/17	11/17 14:18-14:49	18.5	51.0	3.40	18.5
9	2016/12/13-14	12/14 9:04-9:30	1.5	30.0	0.97	4.5
10	2017/7/9	7/9 7:14-7:47	13.5	35.5	3.55	13.5
11	2018/4/23-4/24	4/24 10:04-10:54	4.5	42.0	1.82	6.0

降雨強度 (mm/h)



降雨強度 (mm/h)

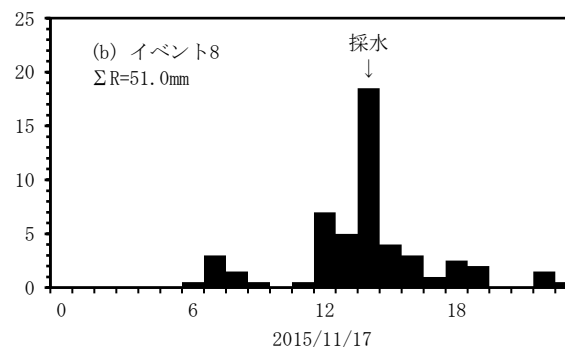


図2 降雨時系列と採水時刻の例

降雨時における耕作放棄地からの汚濁物質の流出

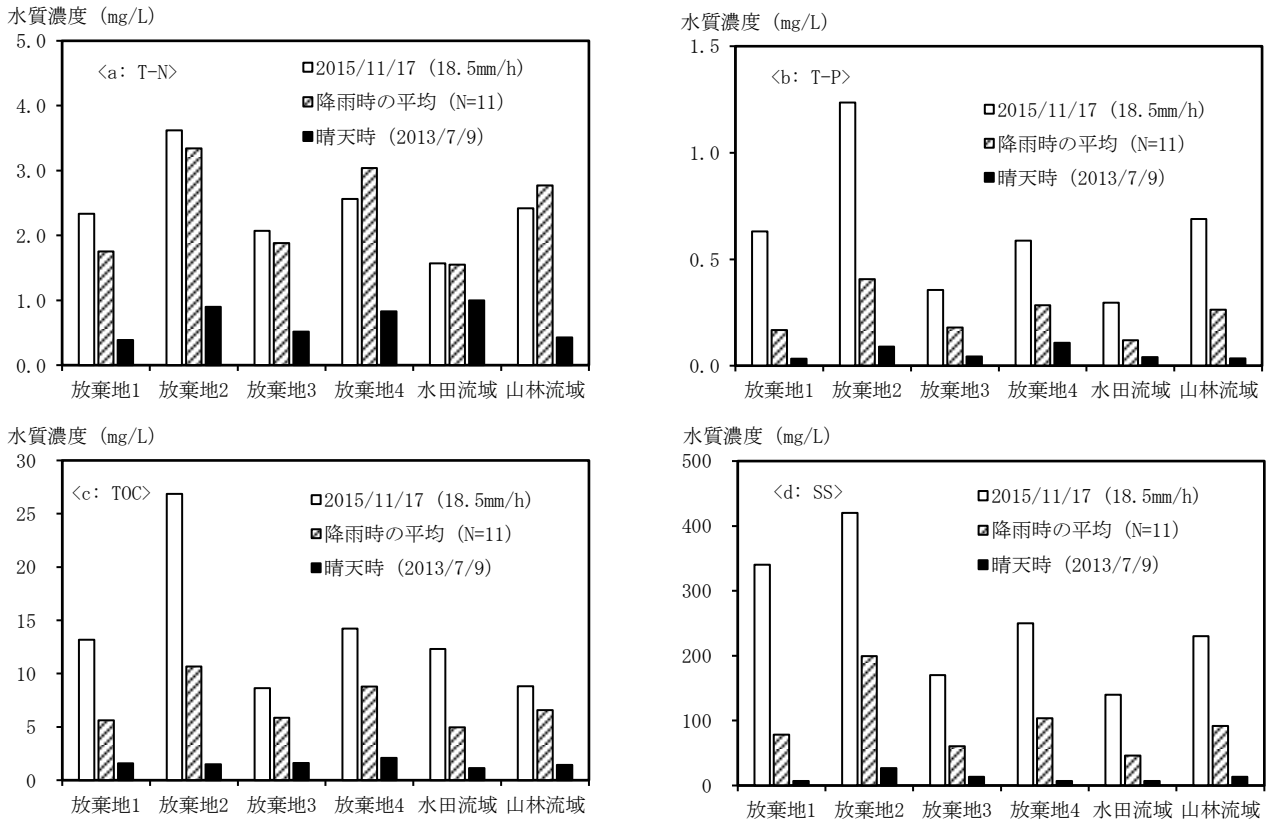


図3 降雨時と晴天時の水質

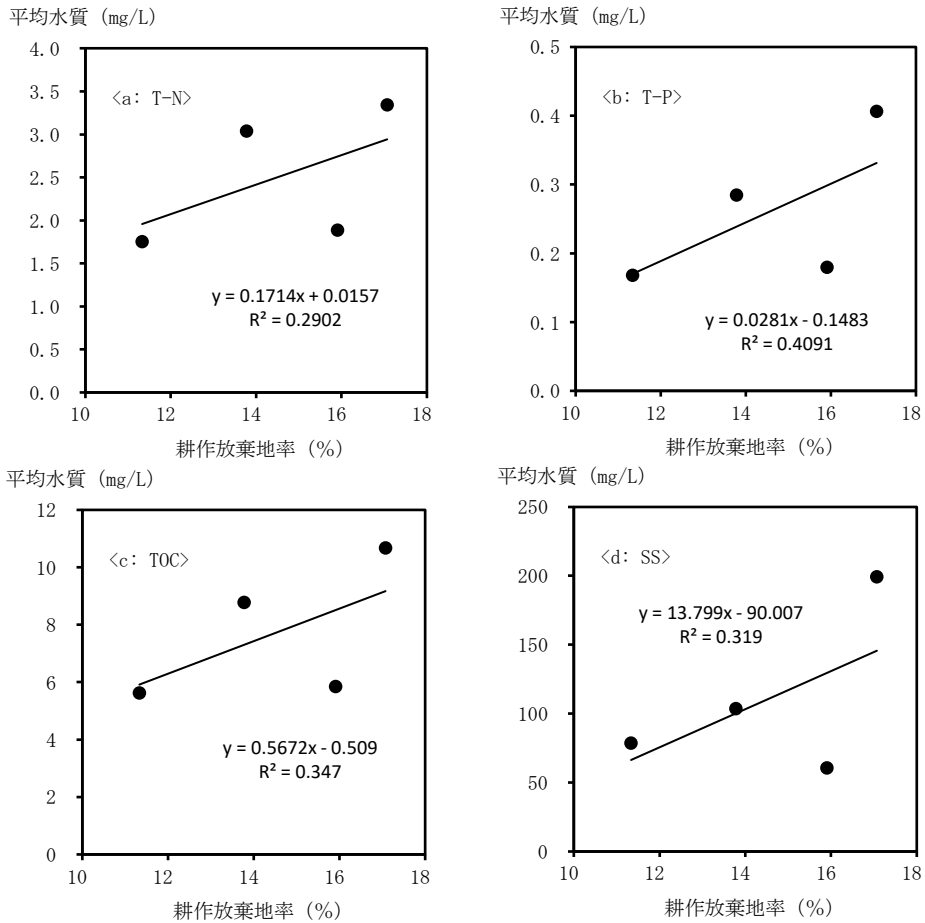


図4 耕作放棄地率と降雨時の平均水質

表2における降雨イベントの採水時の降雨強度は0.5mm/h～18.5mm/hで平均すると5.9mm/hであり、総降雨量は21.5mm～176.0mmで平均すると58.0mmであった。

図3では降雨時調査の結果から、T-N（全窒素）、T-P、TOC（全有機炭素）、SS（懸濁物質）について、採水時の降雨強度が最も強かった2015/11/17の水質、11回の降雨イベントの平均水質、それに晴天時（2013/7/9）の水質を示した。全体を概観すると、降雨時の平均水質は晴天時の水質よりも高くなっていて、2015/11/17の水質は、T-Nの一部を除くとさらに高くなっていて。

降雨時の平均水質について耕作放棄地と水田流域を比較すると、どの水質項目においても放棄地の水質は水田流域よりも高く、特に放棄地2では水田流域の2.2倍（T-N）、3.4倍（T-P）、2.1倍（TOC）、4.3倍（SS）、であった。ただし、個別の降雨イベントについてみると、たとえば2013/6/18-19（採水時の降雨強度12.5mm/h、総降雨量106.5mm）のT-Nでは、放棄地3の0.112mg/Lに対して水田流域の0.229mg/Lなど、水田流域の方が高くなる場合もあった。2015/11/17の水質は平均値の2～3倍程度にまで上昇するものが多かったが、粒子性成分の影響が少ないT-Nでは平均値と同程度であった。

一方、山林流域の水質についてみると、たとえばT-Nの降雨時の平均値2.77mg/Lに対して水田流域の1.553mg/L、放棄地1の1.753mg/L、T-Pの平均値0.263mg/Lに対して水田流域の0.120mg/L、放棄地3の0.180mg/Lなど、水田流域や耕作放棄地の水質よりも高くなるものも見られた。また、イオン性の物質も含めた平均水質を表3に示した。

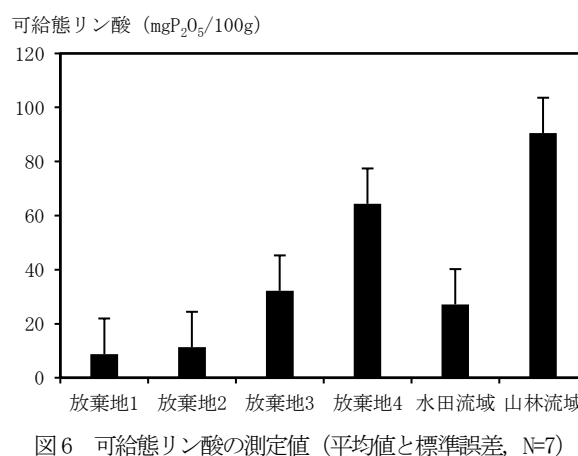
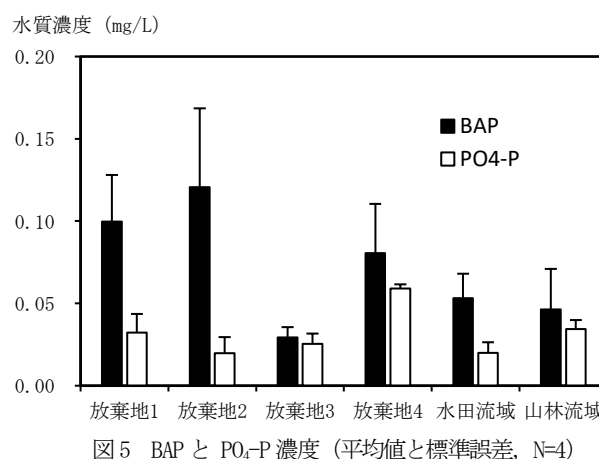
水質項目	放棄地1	放棄地2	放棄地3	放棄地4	水田流域	山林流域
T-N	1.753	3.344	1.885	3.039	1.553	2.770
NH ₄ -N	0.023	0.021	0.023	0.011	0.018	0.031
NO ₂ -N	0.007	0.007	0.004	0.008	0.004	0.010
NO ₃ -N	0.496	1.116	0.230	0.979	0.308	0.855
T-P	0.168	0.407	0.180	0.285	0.120	0.263
PO ₄ -P	0.019	0.013	0.020	0.047	0.012	0.025
TOC	5.62	10.67	5.85	8.77	4.97	6.58
SS	78.5	199.2	60.5	103.5	45.9	91.7

2. 耕作放棄地率と降雨時の平均水質

ここで、放棄地1～4の耕作放棄地率（面積割合）と降雨時の平均水質の関係について整理し、図4に示した。この図ではプロットした点が少なく、また、耕作放棄地率も11%～17%と範囲が狭いものの、耕作放棄地率が大きくなるほど降雨時の水質が高くなる傾向にあった（ただしどの回帰直線も統計的な有意性は認められなかった）。

3. BAP濃度

図5にBAPとPO₄-P濃度を示した。PO₄-PはT-Pの1割程度を占めて0.020mg/L～0.059mg/Lであったが、BAPはそれよりも高くなっていて。耕作放棄地についてみると、BAPの平均値は、放棄地1ではPO₄-Pの3.1倍、放棄地2では6.1倍と高かったが、放棄地3と放棄地4ではPO₄-Pと同程度であった。これらのことから、耕作放棄地から降雨時に流出する水の懸濁物質には生物に利用可能な形態のリンが一定量含まれており、PO₄-P濃度よりも著しく高くなる場合もあることがわかった。



4. 可給態リン酸

図6に可給態リン酸（Bray-2 P）の測定結果を示した。それぞれの地点において7つのサンプルで差異があったものの、平均値についてみると、放棄地1と放棄地2では10mgP₂O₅/100g程度であったが、放棄地3では32.2mgP₂O₅/100gと水田流域よりもわずかに高く、放棄地4では64.3mgP₂O₅/100gとさらに高くなった。耕地土壌における可給態リン酸については、たとえば暖地水田の耕作で必要とされているBray-2 Pは20mgP₂O₅/100g程度であるので（日本土壌肥料学会編 1984）、これを超えている耕作放棄地もある事がわかった。

一方、山林流域のBray-2 Pは予想に反して測定地点の中で最も高くなり、本研究における水質のバックグラウンドとしての位置づけには無理があると考えられた。この理由については判然としなかったが、近隣の山林では、外観はスギやヒノキの人工林であるものの、階段状になった地形や石組み、それにその上部の水を貯留できる窪地など、水稻耕作の痕跡と思われる場所が見られることがある。本研究で対象とした山林流域では、そのような痕跡は観察されず、また、林齢が15~20年スギの人工林であったので、現段階では高いBray-2 Pの測定値の理由はわからなかった。

おわりに

本研究では、耕作放棄地を含む4つの流域と比較のための水田流域と山林流域において、降雨時に増水した水をほぼ同時刻に採水し、これらの地点間の窒素、リン、有機物質等の水質を比較した。その結果、耕作放棄地から流出する水の水質は、耕作中の水田よりもかなり高くなる場合もあった。また、統計的な有意性は認められなかったものの、耕作放棄地率が大きくなるほど降雨時の水質が高くなる傾向にあった。さらに、耕作放棄地から降雨時に流出する水の懸濁物質には生物に利用可能な形態のリンが一定量含まれており、 PO_4 -P濃度よりも著しく高くなる場合もあった。ただし、それぞれの流域には山林が含まれており、また、測定対象とした山林流域は水質のバックグラウンドとするには問題があるなどの課題が残った。

謝 辞

本研究における水質分析には生物資源科学部農業水文学研究室の卒業論文専攻生、修士論文専攻生の協力を得た。記して深甚なる謝意を表します。

引用文献

- 気象庁 (2023) 過去の気象データ検索. <https://tenki.jp/amedas/precip.html>.
- 国土地理院 (2009) 2.5 万分1 地形図, 国土地理院, 東京.
- 小原洋・中井信 (2004) 農耕地土壌の可給態リン酸の全国的変動, 日本土壌肥科学雑誌, **75**: 59-67.
- 並木博編 (1999) 詳解 工場排水試験方法 改訂3版, 507pp. 日本規格協会, 東京.
- 日本土壌肥科学会監修 (1997) 土壌環境分析法, 427pp. 博友社, 東京.

日本土壌肥科学会編 (1984) 水田土壌とリン酸, 173pp. 博友社, 東京.

日本水環境学会 (2012) 非特定汚染源からの流出負荷量の推定手法に関する研究. 平成23年度環境省環境総合推進費成果報告書, 日本水環境学会, 東京.

Sharpley, A. N., Troeger, W. W. and Smith, S. J. (1991) The measurement of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. *Journal of Environmental Quality*, **20**: 235-238.

日本語抄録

6つの流域 (4つの耕作放棄地流域, 1つの水田流域, 1つの山林流域) において、降雨時にほぼ同時に流水を集め、水質を比較した。その結果、耕作放棄地の水質は耕作中の水田よりも顕著に高くなる場合もあり、耕作放棄地率が大きくなるほど、11回の降雨イベントの平均水質は高くなる傾向にあった。また、懸濁物質中には一定量の生物利用可能リンが含まれており、リン酸態リンよりも高くなる場合もあった。しかしながら山林流域を水質のバックグラウンドとして用いるには問題が残った。

三瓶演習林における土壌小型節足動物の群集構造に及ぼす土壌団粒の影響

上芝姫花¹・藤巻玲路^{1*}・山下多聞¹

Effects of Soil Aggregate on Soil Micro Arthropods in Sambe Experimental Forest

Himeka UESHIBA¹, Reiji FUJIMAKI^{1*}, Tamon YAMASHITA¹

Abstract: We examined how soil macro aggregates effect on community structure of soil micro-arthropods in a broad-leaf forest. We experimentally settled soil column made by soil macro aggregate and fine soil in the field condition, then compared soil arthropod communities in the soil column to those in the field soil. While abundance of soil arthropods in experimentally settled soil macro-aggregate and fine soil increased compared to intact soil, taxonomic richness and diversity indices decreased in the soil aggregate community. Especially, proportion of collembola greatly increased in macro-aggregate and fine soil communities, suggesting that homogenized habitat environment in the experimental soil settlement may be suitable for some collembolan species. Similar community structure of soil arthropods was observed within the experimental soil column, while those in the field soil exhibited diverse community each other. This may be due to heterogeneity of soil condition in the field soil.

Keywords: Community ecology, Forest Soil, Soil aggregate, Soil micro arthropods

はじめに

土壌には非常に多くの種類と現存量の動物と微生物が生息している。表層土壌には 1 m² 当たりおよそ数十から数百 g の微生物が生息しており、その 1/10 程度の土壌動物が生息している (金子 2007)。土壌動物は体の小さな種ほど個体数が多く、一般に地上の動物よりも小型であり、湿潤で温度と湿度の変化が少なく、生息空間が狭いという土壌環境に適応している。土壌動物は土壌中の小さな孔隙を生息地として利用しており、それを反映した体幅による分類が提案された (Swift et al. 1979)。原生物や、センチウなどは土壌の液相を利用して生活しており、体の幅は 0.1 mm より小さく、小型土壌動物と呼ばれている。小型のため、微生物を直接摂食していることが多い。次に体幅が 0.1 mm から 2 mm までの間には、多様なグループの土壌動物がいて、中型土壌動物と呼ばれている。このサイズの動物は、土壌孔隙を移動していて、節足動物が多くを占め、微生物食者から落葉食、捕食性までを含む。ミミズのような大きな動物は大型土壌動物である。土壌孔隙よりも体が大きく、ミミズやアリ、シロアリは自分で坑道を掘るが、他の動物のほとんどは落葉と土壌の間や石の下などの大きな空隙を利用して、落葉食と捕食性の動物がほとんどである。

動物群集の種多様性は、生息環境の異質性が高い環境で高いことが知られている (宮下・野田 2003)。森林生態系は、林冠高木層から低木、草本に至る多様な樹木の階層構

造や、それらの分布様式、また、母岩と植生の相互作用によって形成される土壌分解系の違いによって見られる垂直、水平的異質性の高い系として特徴付けられている。したがって森林生態系における生息環境の高い空間的異質性は森林土壌動物群集の高い多様性を保証している可能性がある。

菱ら (2009) の研究では、蛇紋岩ヒノキ人工林におけるササラダニ種数および多様性は下層植生が存在することによって増加する傾向にあった。また、このヒノキ林では、下層植生の木本種数が多いところや、下層植生の落葉量や、落葉全体に占める下層植生の落葉割合の高いところでササラダニ成虫の種数は多かった。針葉樹造林地のような、林冠木の多様性が低い場所で、物理的、化学的に林冠木と全く異なった質のリターを供給する落葉広葉樹や常緑広葉樹、またササといった下層植生が存在することは、リターの混合効果によって、ササラダニの生息地の複雑性を増す効果が高まったと考察している。また Mori et al. (2015) は、広葉樹との混交率が異なる複数のカラマツの人工林および広葉樹天然林において土壌表層のリター層と鉍質土壌のササラダニ群集組成を比較し、リター層ササラダニ群集のβ多様性はカラマツの優占度が大きい林分で小さく広葉樹天然林で大きいことを報告している。これは、林床のリターの組成が上層木の種組成を反映しており、天然林では多様なリターが供給されることによりササラダニ類の生息場所が多様化しているためと考察している。このよ

¹ 島根大学生物資源科学部森林生態環境学研究室

* 責任著者 (rfujimak@life.shimane-u.ac.jp)

うにリター層においては地上部の植生がリター供給を通して土壌動物の生息場所を改変し群集構造に影響を及ぼすことの証拠が増えてきた一方で、鉱質土壌においては生息環境としての土壌構造と中型土壌動物の群集構造との関係についての研究例は少ない。

土壌団粒は一次粒子（粘土，シルト，砂）が有機的あるいは無機的接着によって凝集し粒子を形成したものである。団粒の形成と崩壊の動態は，5つの要因（土壌動物，土壌微生物，根，非生物接着物質，水分や温度などの環境要因）の相互作用で決定されると考えられている（Six et al. 2004）。このほかに，マクロ団粒は，ミミズやヤスデといった大型土壌動物の排泄した糞が，土壌中に蓄積することでも形成される（Lavelle et al. 1997）。団粒間の孔隙は雨が降った後は余分な水を流し，雨がないうちは毛管水など適切な水分を保持するので，土壌に透水と保水の両方の効果をもたらしている。そして，孔隙内には適度に空気も存在しているので，植物の根や微生物に絶えずに必要な酸素を与えている。体幅 $100\ \mu\text{m}$ から 2mm までのダニやトビムシなどの中型土壌動物は，自ら土壌に穴を掘ることが出来ないため，生活場所は直接的に土壌構造に影響されると考えられる。トビムシやササラダニのなかまには土壌中の微生物を食べるものが多く含まれる。土壌空隙が多いことは，トビムシの個体数を増加させ，そのことが捕食者であるトゲダニの個体数を増加させていた（金子ら 2018）。また湿潤な環境を好む中型土壌動物にとって土壌孔隙は最適な住み場所であると考えられる。しかし，森林における土壌構造と中型土壌動物の群集構造との関係はまだ十分には明らかではない。

本研究では，森林土壌において土壌団粒構造が中型土壌動物の群集構造に及ぼす影響について明らかにすることを目的とし，人為的にマクロ団粒のみで構成された土壌カラムを埋設する野外実験を行った。団粒の土壌カラムに定着する中型土壌動物群集の特徴を通常の森林土壌と比較した結果を報告する。

材料と方法

土壌の採取は島根大学生物資源科学部生物資源教育研究センター三瓶演習林獅子谷団地 3 林班のコナラが優占する二次林で行った。地質は，花崗岩質貫入岩を基盤とし，黒雲母花崗岩や閃緑岩からなる。三瓶火山の噴火堆積物の影響が大きく，斜面下部では，崩積性の火山灰土壌が厚く堆積している部分が多い。2008年から2012年にかけての年平均気温は 13°C 程度，年間降水量は 2000mm 程度であ

る。

土壌団粒は島根大学松江キャンパス内のスギ林土壌を， 2mm の篩を通した後に有機物を取り除きマクロ団粒を集めて供試した。回収したマクロ団粒は 100°C にて 12 時間乾燥させ，底面積 20cm^2 ，高さ 3.8cm の塩ビパイプに入れて，マクロ団粒カラムとした。 2mm の篩でふるい落とされた細土も同様に乾燥させ塩ビパイプに入れ，細土カラムとした。カラムの底部は内部土壌の流出を防ぐため 0.05mm メッシュのナイロンネットで塞ぎ，上部は開放した。

土壌の採取と塩ビパイプの設置・回収は 3 林班の作業道沿いで行った。作業道から 1m ほど林内に分け入り，下層植生（チュウゴクササ）が繁茂している場所に調査地を設けた。調査地内で $1.5\sim 2\text{m}$ 間隔をあけて土壌採取，塩ビパイプの設置をそれぞれ春と秋の 2 回行った。1 回目は 2022 年 4 月 14 日に 100cm^3 の採土円筒にて 10 カ所土壌を採取し，そこにマクロ団粒カラムを 10 個設置し，2022 年 5 月 12 日に回収した。2 回目は 2022 年 11 月 8 日に実施した。採土円筒での土壌採取，マクロ団粒カラムおよび細土カラムの設置を行い，カラムは 12 月 15 日に回収した。

採取した非攪乱土壌および回収した土壌カラムのマクロ団粒と細土は $35\sim 40^\circ\text{C}$ のツルグレン装置に 5 日間かけ中型土壌動物を抽出した。抽出された中型土壌動物をプレパラートに封入し，顕微鏡下で個体数計測および分類群の同定を行った。土壌動物の分類は青木（2015）に従い，目あるいは科レベルで行った。個体数は土地面積 1m^2 あたりの値に換算した。

各非攪乱土壌および土壌カラムの中型土壌動物群集間の類似度について，Chao 指数を類似度とした非計量多次元尺度法（nMDS）によって解析した（土居・岡村 2011）。解析は，統計ソフト R（ver. 4.2.1）の `vegan` パッケージを用いた。また，それぞれのカテゴリーの平均総個体数，分類群数，逆 Simpson 指数（ $1/D$ ），Shannon-Wiener の多様度指数（ H' ）および Pielou の均等度（ J' ）を用い，群集構造の特徴を評価した。

$$1/D = 1 / \sum p_i^2$$

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

$$J' = H' / H'_{\text{max}}$$

ただし Σ は $i=1$ から種数 S までの数列和， p_i は全体の個体数に対する種 i の個体数の割合， H'_{max} は H' の最大値（ $= \ln S$ ）をそれぞれ表す。

結果と考察

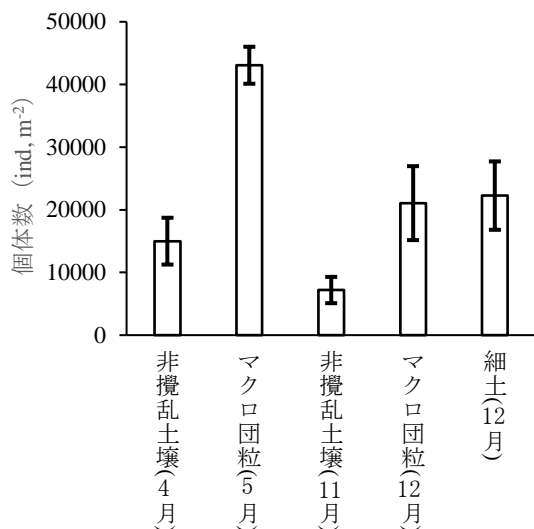


図1 非攪乱土壌, マクロ団粒, 細土における中型土壌動物の個体数. エラーバーは標準誤差を表す.

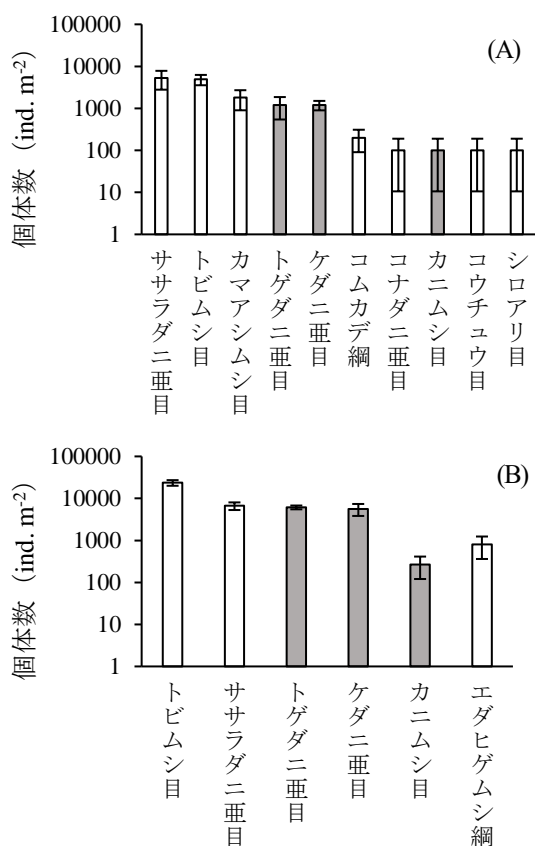


図2 4月非攪乱土壌 (A) および5月マクロ団粒 (B) における中型土壌動物分類群の個体数. グレーは捕食性の分類群を, エラーバーは標準誤差をそれぞれ示す.

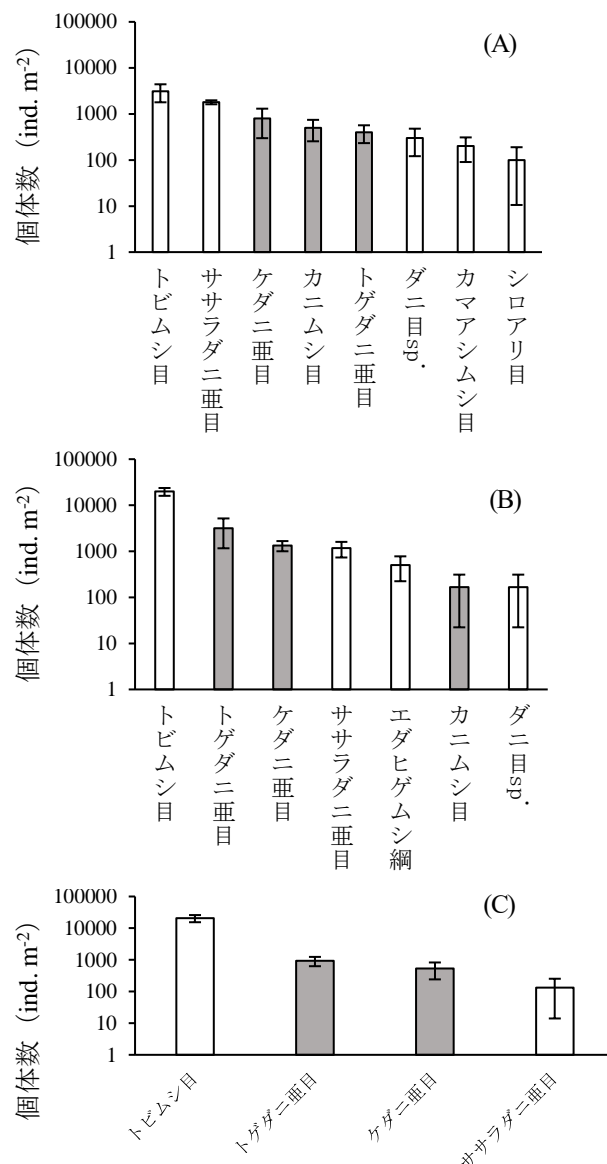


図3 11月非攪乱土壌 (A), 12月マクロ団粒 (B) および12月細土 (C) における中型土壌動物の分類群ごとの個体数. グレーは捕食性の分類群を, エラーバーは標準誤差をそれぞれ示す.

4月に採土円筒で採取した非攪乱土壌と5月に回収したマクロ団粒の含水率はそれぞれ49.52%, 35.34%となった. 容積重は非攪乱土壌で0.36 kg L⁻¹, マクロ団粒で0.43 kg L⁻¹となった. 抽出した中型土壌動物の個体数は非攪乱土壌で15000 ± 3734 m⁻² (平均値 ± 標準誤差, 以下同じ), マクロ団粒で43067 ± 2951 m⁻²となり, マクロ団粒の個体数が非攪乱土壌の個体数の2倍以上となった (図1).

11月に採土円筒で採取した非攪乱土壌と12月に回収し

たマクロ団粒、細土の含水率はそれぞれ40.88%、29.07%、21.78%となった。容積重は非攪乱土壌で0.46 kg L⁻¹、マクロ団粒で0.39 kg L⁻¹、細土で0.51 kg L⁻¹となった。抽出した中型土壌動物の個体数密度は非攪乱土壌で7200 ± 2100 m⁻²、マクロ団粒で21067 ± 5899 m⁻²、細土で22267 ± 5457 m⁻²となった。マクロ団粒と細土の個体数密度は非攪乱土壌の個体数密度の2倍以上となった(図1)。

秋に採取した非攪乱土壌、マクロ団粒の個体数密度はともに、春に採取した非攪乱土壌、マクロ団粒と比べておよそ1/2に減少している。これは季節変化によるものだと考えられ、多くの土壌動物で冬季に個体数密度が減少することが確認されている(中村ら 1970)。

各分類群の個体数を図2および図3に示す。5月のマクロ団粒、12月のマクロ団粒、細土とともにトビムシ目が突出して高い値を示した。非攪乱土壌(4月、11月)でも、トビムシ目、ササラダニ亜目の個体数が多い傾向にはあるが、非攪乱土壌ではマクロ団粒や細土と比べて分類群数が多い。トビムシ目は落葉・落枝・腐葉・朽ち木などの植物遺体や腐植質あるいは菌類を主な食料としている。マクロ

団粒、細土はあらかじめ大きな有機物は取り除いているので有機物の影響は考えにくい。菌類などの微生物が多く含まれていた可能性等が考えられるが、今回の実験ではマクロ団粒、細土でトビムシ目が優占していた要因については解明できなかった。

一般に中型土壌動物の個体数はトビムシ目とササラダニ亜目が多いことが知られており(金子 2007)、本研究でも非攪乱土壌ではこのパターンに従っている。一方、12月に採取したマクロ団粒や細土では、トゲダニ亜目やケダニ亜目の個体数がトビムシ目の個体数に次いで多く、個体数順位ではそれぞれ第2位と第3位であった(図3)。トゲダニ亜目やケダニ亜目は捕食性ダニが多いが、陸上生態系では通常、捕食者の個体数が上位の順位になることは稀である。マクロ団粒や細土では個体数順位第1位のトビムシ目の個体数が突出しており、被食者として捕食性のトゲダニ亜目やケダニ亜目の個体数を支えている群集構造となっていると考えられる。人為的に土壌構造を均一化したマクロ団粒や細土では土壌中の孔隙の構造が単純になるため、捕食者は被食者を捕らえることが容易であり、捕食者

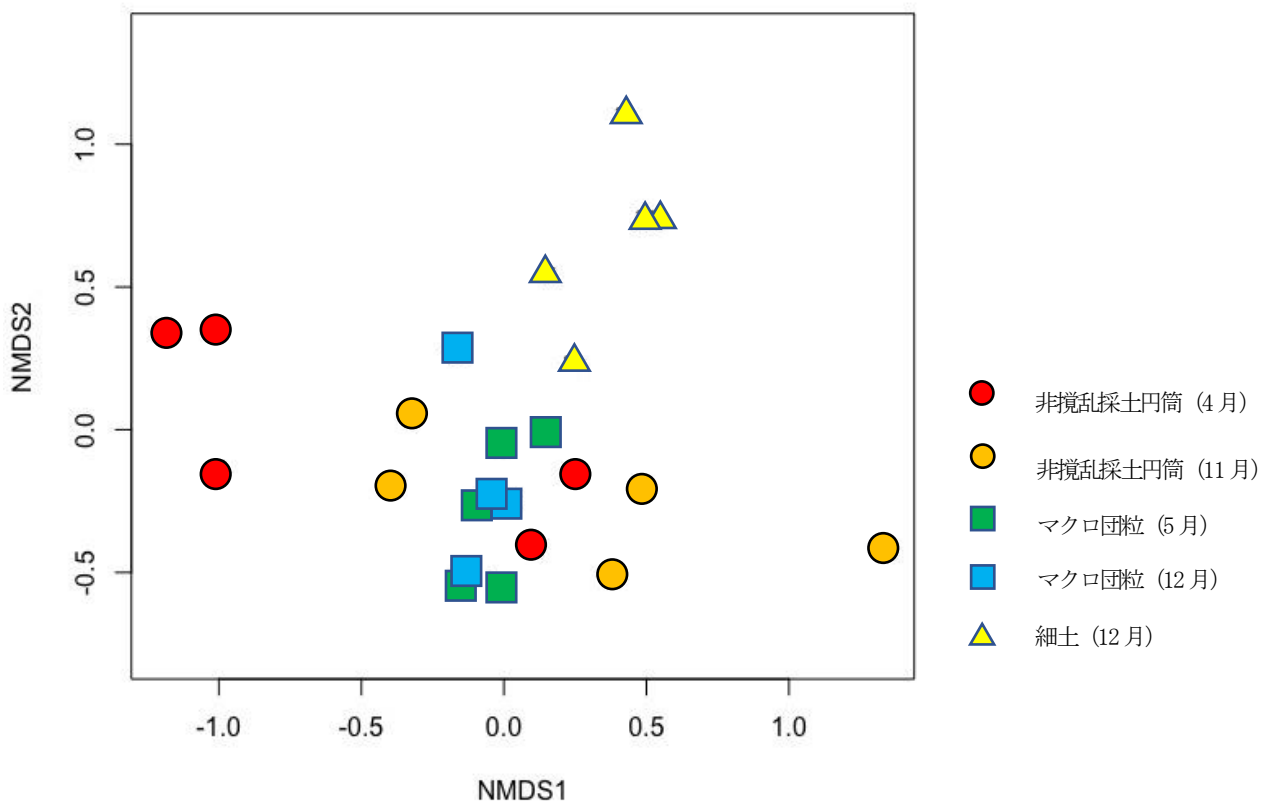


図4 中型土壌動物群集のnMDS biplot 図.

表1 各土壌の中型土壌動物群集の分類群数・多様度指数および均等度指数

	非攪乱土壌 (4月)	マクロ団粒 (5月)	非攪乱土壌 (11月)	マクロ団粒 (12月)	細土 (12月)
分類群数	10	6	8	7	5
逆 Simpson 指数	3.859	2.764	3.692	1.683	2.146
Shannon 指数	1.583	1.235	1.591	0.896	0.854
均等度指数	0.687	0.689	0.765	0.460	0.531

の個体数が増加しやすい状況にあったのかもしれない。

金子ら (2018) は、土壌空隙が多いことがトビムシの個体数を増加させ、そのことが捕食者であるトゲダニの個体数を増加させることを報告している。本研究では土壌孔隙率を測定していないが、マクロ団粒や細土を充填した土壌カラムでは土壌空隙の量は非攪乱土壌とは異なる。従って、本研究においても土壌中の空隙が中型土壌動物相の組成に影響を及ぼしていたことを示している。

分類群数、逆 Simpson 指数、Shannon-Wiener の多様度指数および Pielou の均等度を表1に示す。春と秋の双方で、マクロ団粒および細土における個体数密度は非攪乱土壌の2倍以上大きな値を示した。一方、分類群数は非攪乱土壌が最も多かった。また、多様度指数（逆 Simpson 指数および Shannon-Wiener 指数）は非攪乱土壌で高い値を示した。これはマクロ団粒および細土における中型土壌動物群集内の個体数割合が、優占する分類群に大きく偏っていたことを示している。

土壌マクロ団粒は、植物の根からの分泌物、微生物、粘土鉱物への吸着のほか、ミミズのような大型土壌動物の糞によっても作られる (Six et al. 2004)。このようなマクロ団粒を作る作用が強く働く環境では、中型土壌動物の群集構造の多様性は種数の減少や優占種への個体数割合の偏りを生ずるかもしれない。北米の研究では、侵略性外来ミミズが優占する森林土壌において、小型・中型・大型のいずれの土壌動物群においても個体数や分類群数の低下を招き、土壌動物群集の生物多様性が減少していることが報告されている (Jochum et al. 2021)。この原因については十分に解明されていないが、生態系改変者としてのミミズの影響の大きさを考えると (Lavelle et al. 1997, 金子 2007)、土壌環境の改変を通して土壌動物の群集構造に強く影響していることが考えられる。本研究の調査地においても、土壌食性のミドリバヤスデの比較的大きい個体数が報告されており (Kaneko and Hashimoto 2010)、ミドリバヤスデやその他の土壌食性のミミズが作り出すマクロ団粒が卓越する土壌においては中型土壌動物群集の多様性が低

下している可能性がある。

nMDS 解析の結果より、非攪乱土壌は群集の類似度による配置が広い範囲にわたっていた (図4)。このことは、採取した採土円筒同士の群集構造の類似性が小さく、 β 多様性が大きいことを示している。また、春と秋とでは分布範囲にある程度重なる部分はあるものの、大まかに区分できる領域に分布が分かれており、季節により群集構造が変化していることを示唆している。一方で、マクロ団粒の nMDS プロットは狭い領域に分布しており、季節ごとの区分は明瞭ではなかった。マクロ団粒の中型土壌動物群集は類似性の高い群集構造であり、季節の影響も小さかったことが示唆される。同様に、細土の nMDS プロットも比較的狭い領域に分布し、細土のサンプル間では群集構造の類似性が高く β 多様性が小さいことを示している。また、細土の nMDS プロットの分布領域は非攪乱土壌やマクロ団粒とは異なった位置にあり、中型土壌動物の群集構造が他とは類似性が小さいことを示している。

非攪乱土壌で β 多様性が大きく、マクロ団粒や細土で β 多様性が小さくなったことの原因として、土壌環境の異質性の大きさが非攪乱土壌とマクロ団粒および細土とで異なっていたことが影響していた可能性がある。すなわち、マクロ団粒と細土は、土壌を篩がけすることにより団粒のサイズを人為的に揃えており、中型土壌動物が利用できる土壌内の空間構造がサンプル間で類似したものとなっている。一方で、一般に森林の非攪乱土壌は植物根や礫の含有量、リターの分解残渣の混合状態は均一ではない。このような土壌環境の不均一性が、中型土壌動物群集の大きな β 多様性を担保していたと考えられる。

謝 辞

島根大学生物資源科学部附属生物資源科学教育研究センター森林科学部門の尾崎嘉信氏および葛西絵里香氏、ならびに島根大学生物資源科学部森林生態環境学研究室の清本芽生氏および福田真夕氏には、調査時にご協力をいた

だいた. 記して感謝申し上げます.

引用文献

青木淳一 (2015) 日本産土壌動物 第二版: 分類のための
図解検索. 2022pp. 東海大学出版, 神奈川.

土居秀幸・岡村寛 (2011) 生物群集解析のための類似度と
その応用: R を使った類似度の算出, グラフ化, 検定.
日本生態学会誌, **61**: 3-20.

菱拓雄・池崎翔子・榎木勉 (2009) 福岡県御手水流域ヒノ
キ不成績人工林における下層植生の違いがササラダニ
の種多様性に与える影響. *Edaphologia*, **84**: 11-20.

Jochum, M., Ferlian, O., Thakur, M. P., Ciobanu, M., Klamer, B.,
Salamon, J.-A., Frelich, L. E., Johnson, E. A. and Eisenhauer, N.
(2021) Earthworm invasion causes decline across soil fauna
size classes and biodiversity facets in northern North American
forests. *Oikos*, **130**: 766-780.

金子信博 (2007) 土壌生態学入門—土壌動物の多様性と
機能—. 199pp. 東海大学出版会, 神奈川.

Kaneko, N. and Hashimoto, M. (2010) Life history of millipede
Parafontaria tonominea (Attems) (Xystodesmidae,
Diplopoda) at Mt. Sanbe, western Japan. *Edaphologia*, **86**: 21-
25.

金子信博・井上浩輔・南谷幸雄・三浦季子・角田智詞・池
田紘士・杉山修一 (2018) 有機りんご圃場の土壌動物多
様性—慣行りんご圃場および森林との比較—.
Edaphologia, **102**: 31-39.

宮下直・野田隆史 (2003) 群集生態学. 187pp. 東京大学出
版会, 東京.

Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson,
P., Heal, O. W. and Dhillon, S. (1997) Soil function in a
changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers.
European Journal of Soil Biology, **33**: 59-193.

Mori, A. S., Ota, A. T., Fujii, S., Seino, T., Kabeya, D., Okamoto,
T., Ito, M., T., Kaneko, N. and Hasegawa, M. (2015) Biotic
homogenization and differentiation of soil faunal communities
in the production forest landscape: taxonomic and functional
perspectives. *Oecologia*, **177**: 533-544.

中村義雄・藤川徳子・山内勝介・田村弘忠 (1970) 北海道
における森林土壌動物の分布と動態. 日本森林学会誌,

52: 80-81.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. and Deneff, K. (2004) A history of
research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and
soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, **79**: 7-
31.

Swift, M. J., Heal, O. W. and Anderson, J. M., (1979)
Decomposition in Terrestrial Ecosystems. 372pp. Blackwell,
Oxford.

島根大学生物資源科学部研究報告（令和5年度版）

（学術研究委員会）

投稿規定

- （1）島根大学生物資源科学部研究報告は原則として年1回発行する。
- （2）本研究報告には、島根大学生物資源科学部の教職員、院生、学生、外国人研究者および学術研究委員会において認めたものが投稿することができる。
- （3）本研究報告の内容は、原著論文、総説および解説などとする。
- （4）原著論文、総説、解説の執筆要領は別に定める。
- （5）投稿予定者はあらかじめ投稿申込書を提出し、決められた期限内に投稿原稿を各学科または附属生物資源教育研究センターの学術研究委員へ提出する。
- （6）使用言語は日本語または英語とする。
- （7）原著論文、総説、解説の長さは、図表を含めて仕上がりで8ページまでとする。
- （8）投稿原稿の掲載の可否については学術研究委員会が決定する。
- （9）本研究報告の記載事項の著作権は島根大学生物資源科学部に帰属する。
- （10）本研究報告の公開方法については、PDF化したものを生物資源科学部のホームページ及び島根大学附属図書館のオンラインリポジトリシステムにより行うものとし、学術研究委員会が決定する。

執筆要領

- （1）原稿はパーソナルコンピューターと汎用されている文書作成ソフトウェア（MS-WORDなど）を用いて作成し、添付ファイル等と出力原稿を提出する。
- （2）図および表の掲載は、論文に必要な欠くべからざるものだけに留め、効果的に挿入する。
- （3）図および表は、本文に組み込み、「図（Fig.）1」、「表（Table）1」のようにそれぞれ通し番号を付ける。
- （4）図の題及び説明文は、下部に書く。表の題及び説明文は、上部に書く。図および表の題、説明文、図表中の文字は英文にしてもよい。
- （5）図および表の大きさは、原則として横17cm、または8cm、縦は24cm以内である。
- （6）1ページは横書き1行25字、44行の2段組（約2,200字）を基本とする。タイトル、著者名、要旨は段組をしない。上下は2,2cm、左右は1,7cmのマージンとする。島根大学生物資源科学部研究報告No26の論文の体裁に合わせて著者が最終原稿を作成する。句読点は“.”、“,”を用いる。
- （7）和文で提出する場合は、日本語の表題と著者名、英語の表題と著者名、英語の抄録（Abstract）に続き、緒言（＝前書き、はじめに、序）、材料と方法（＝実験方法、実験）、結果、考察（＝結果と考察）、総合論議（＝まとめ、結論）、謝辞、引用文献、日本語抄録（省略可）の順に記述することを基本とする。
- （8）英文で提出する場合は、Title, Author(s), Abstract, Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgement(s), References, 日本語抄録の順に記述することを基本とする。
- （9）表題ページには以下の項目について記載すること。表題、ランニングタイトル（簡略化した論文表題、和文20字以内、英文50字以内）、著者不在中の校正代行者名、図表の枚数、連絡事項。
- （10）Abstractは250語程度とし、Abstractの最後の行にKeywords（5語程度、アルファベット順）

をつける。

- (11) 和文，英文を問わず，動植物の属以下の学名はイタリック体とする。
- (12) 文献は著者のアルファベット順に並べる。雑誌の号数は括弧で囲んで表示する。ただし、巻が通しページである場合は号数を省略する。
- (13) 引用文献は著者名のアルファベット順に，例えば下記のように，記載する。

(雑誌)

Aerts, R. and Chapin, F. S. III. (2000) The mineral nutrition of wild plants revisited: a reevaluation of processes and patterns. *Advanced Ecological Research*, **30**: 1–67.

西山嘉寛・吉岡正見 (1996) 山火事跡地の復旧に関する調査—被災1年目の玉野試験区の状況—。岡山県林業試験場研究報告, 13: 54–92.

Tilman, D., Knops, J., Wedin, D., Reich, P., Ritchie, M. and Siemann, E. (1997) The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, **277**: 1300–1302.

上田明良・小林正秀・野崎愛 (2001) カシノナガキクイムシの寄主からの臭いに対する反応の予備調査。森林応用研究, 10(2): 111–116.

(書籍)

Bormann, F. H. and Likens, G. E. (1979) *Pattern and process in a forested ecosystem*. 253pp. Springer-Verlag, New York.

依田恭二 (1971) *森林の生態学*. 331pp. 築地書館, 東京.

本文中では「——が報告されている (上田ら 2001).」 「西山・吉岡 (1996) は山火事跡地の——」 「——に生物多様性が影響する (Tilman *et al.* 1997).」 「Aerts and Chapin (2000) は樹木の養分利用効率を——」のように引用する。

編集委員会

委員長 小林 伸雄
委員 山本 達之
須貝 杏子
森 佳子
江角 智也
倉田 健悟
泉 洋平
小野 廣記

Editorial Board

Chief Editor Nobuo KOBAYASHI
Associate Editors Tatsuyuki YAMAMOTO
Kyoko SUGAI
Yoshiko MORI
Tomoya ESUMI
Kengo KURATA
Yohei IZUMI
Hiroki ONO

令和6年3月31日発行

発行者 国立大学法人島根大学生物資源科学部

〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060

発行責任者 上野 誠
(生物資源科学部長)