

IV 研 究 資 料

基盤研究 1 ウ k1：森林における降水と溪流水質のモニタリング

岡本 透（森林環境研究グループ長）

1. はじめに

京阪神地域では都市域に近接して森林が分布している。そのため、都市域から排出された相当な量の環境負荷物質が、降雨を介して森林に流入していると考えられる。高濃度の環境負荷物質の流入が定常的に続いた場合、森林生態系内の物質循環プロセスに影響が生じ、森林から流出する溪流水の水質に影響を与える可能性がある。そこで本報告では、京阪神地域の都市近郊林における林外雨と溪流水の主要溶存成分のモニタリング調査を行い、その化学特性の変化を明らかにすることを目的とした。

2. 試験地の概要と観測の方法

林外雨と溪流水のモニタリングは近畿中国森林管理局京都大阪森林管理事務所管内北谷国有林内の山城水文試験地（京都府木津川市、34° 47' N、135° 50' E）で行った。流域面積は 1.6 ha、標高は 180 ～ 255 m である。地質は花崗岩で、土砂流亡がかつて頻発したことを反映し、土壌は未熟土および未熟な褐色森林土である。植生はコナラやソヨゴを優占種とする広葉樹林であるが、ナラ枯れが進行し、倒木が増加している。試験地には、森林の内外における大気フラックスを測定するための観測タワーが設置されている。林外雨は観測タワー上部に設置した直径 21 cm のポリロートで受け、10 L ポリタンクに貯留し採取した。溪流水は、源頭部付近で常時流水のある地点に定点を設けて採水した。林外雨と溪流水の採取は月 1 ～ 2 回程度の頻度で行った。採取した林外雨、溪流水サンプルは実験室に持ち帰り、pH はガラス電極法、電気伝導度（EC）は白金電極法で測定した。溶存成分濃度は孔径 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過した後、イオンクロマト法、ICP 発光分光分析法で測定した。炭酸水素イオン濃度は中和適定法、溶存有機炭素濃度は乾式燃焼法を用いて測定した。

3. 2022 年の観測結果

山城水文試験地の 2022 年の年降水量は 1347.2 mm で例年よりもかなり少なく、通年での観測を再開した 2014 年以降では最も少なく、試験地に近いアメダス京田辺も同期間の最少ではないものの、同様の傾向を示した（図 1）。林外雨の pH は 4.15 ～ 4.99、EC は 0.71 ～ 6.61 mS m^{-1} の範囲で変動していた。pH と EC の加重平均値は 4.69、1.44 mS m^{-1} であった。降水量の少ない試料は溶存成分濃度が高い傾向が認められ、とくに冬期、春期において顕著であった。一方、溪流水については、pH と EC の平均値と範囲はそれぞれ 7.07 (6.83 ～ 7.32) と 6.47 (5.19 ～ 7.02) mS m^{-1} であり、年降水量が少なく、流量が少なかったことを反映して例年よりもやや高い値を示した。溪流水の pH と EC は、流量の多い時に低い値を示した。このことは、pH と溶存成分濃度が低い降水等の混入により、溪流水の pH と EC が低下したことを示唆している。

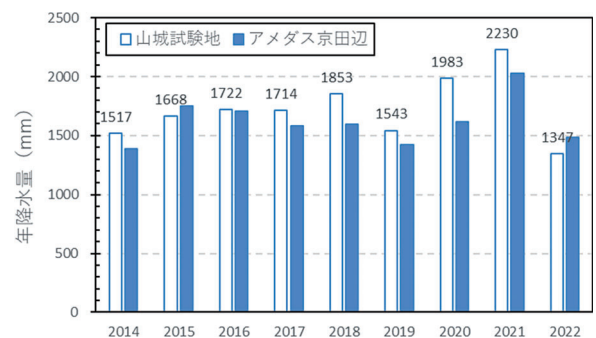


図 1 山城水文試験地とアメダス京田辺における 2014 ～ 2022 年の年降水量。

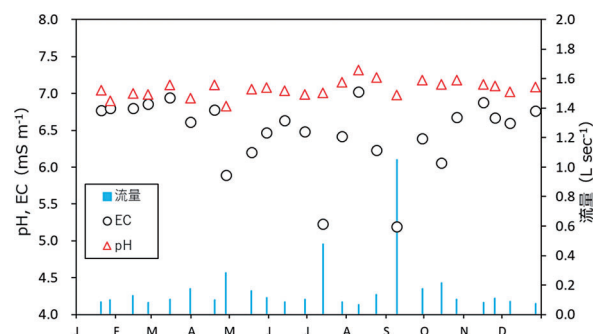


図 2 山城水文試験地における 2022 年の溪流水の流量、pH、EC。

基盤研究1ウ k2：森林水文モニタリング

—竜ノ口山森林理水試験地における2023年の概要—

細田育広（森林水循環担当チーム長）

1. はじめに

本課題は、水源山地を覆う森林の水源涵養機能解明を目的として取り組まれている。森林は人為的に改変しなくとも変化し続ける生態系であり、その林相や成長段階に応じた流域水収支が生じるため、各段階における実態を知ることが、水資源管理上も防災上も重要となる。こうした観点から、明治の終わり頃から源流域渓流水量の観測が行われるようになり、関西支所では温暖寡雨な瀬戸内海式気候下で1937年に始まる竜ノ口山森林理水試験地（以降、竜ノ口山）の観測を引き継いで現在に至る。2023年は4月頃から年明けまでエルニーニョ現象が発生し（気象庁、2023a）、世界的に異常高温が記録された（気象庁、2024）。日本でも7月後半以降顕著な高温となった一方、6・7月の梅雨期には、四国から関東の太平洋岸で24時間降水量の6月最大値が更新され、九州から秋田にかけての日本海側で半月の間に300 mm以上の降水量がもたらされた（気象庁、2023b）。竜ノ口山でも同様の経過をたどったが、7月後半以降偏西風が日本付近で北に蛇行して太平洋高気圧の影響が強まった影響で寡雨傾向となり、岡山実験林気象観測露場（以後、露場）における年降水量は平年値（1991～2020年の平年値）を50 mm以上下回った。

2. 試験地の概要と観測の方法

竜ノ口山（34° 42' N, 133° 58' E, 36～257 m）は瀬戸内海式気候の岡山平野北東に位置し、北谷（17.3 ha）と南谷（22.6 ha）の2流域で構成される（図1）。基岩の大部分は古生層であり、北谷主流路右岸から南谷下流部にかけて火成岩類が分布する。近年の竜ノ口山は樹高10～15 mほどのコナラ等の広葉樹を主とする二次林で広く覆われ、ヒノキ主体の人工林やササ等が繁茂する草薹地や疎林が部分的に広がる。降水量は山麓の露場において転倒マス型雨量計により観測し、貯留型雨量計の値で適宜補正した。流出水量は両谷ともに60° Vノッチ式量水堰堤で観測した越流水深を流量換算後時間積分し、流域面積で除して水高値とした（細田、2023）。

3. 平年値について

平年値は、2011年の観測結果（細田、2012）以来、1981～2010年の平均値を用いてきたが、データが整理できたので本報から1991～2020年の平均値を用いる（図2）。新平年値の降水量は2～6月に旧平年値を下回った。5月には10 mm以上下回ったが、7・10・12月に10 mm以上旧平年値を上回り、通年では35 mm近く増加した。流出水量も同様の傾向となったが、月降水量が増加した時の月流出水量の増加は北谷で大きく、低下したときの月流出水量の減少は南谷で大きい傾向がある。結果として、通年では北谷で5 mm以上の増加、南谷では10 mm以上の減少となった。なお、降水量を観測する気象露場は、1986年に両谷合流点付近から約300 m下流の平坦地に移設された（後藤ら、2005）。新しい平年期間の降水量は、初めて全期間が現在の露場で観測されている（図1）。

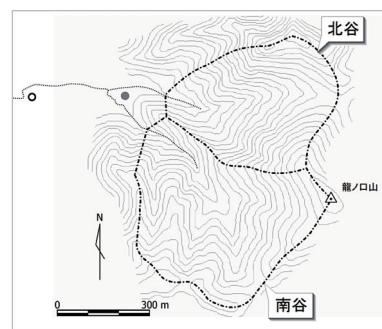


図1 地形と露場の位置。
●：旧露場（～1985年）
○：現露場（1986年～）

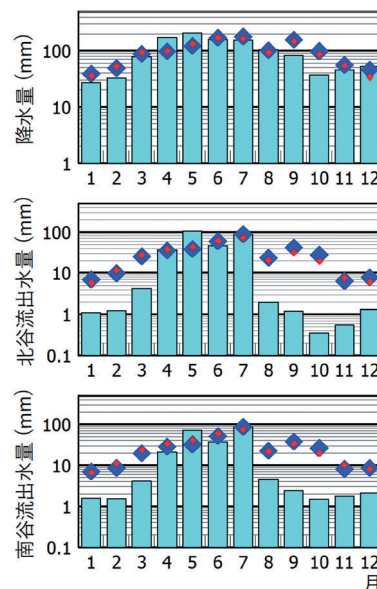


図2 2023年の月積算値。
◆：新平年値（1991～2020年平均値）
◆：旧平年値（1981～2010年平均値）

4. 2023 年の観測結果

図2に示すように、月降水量は年初に平年をやや下回って推移したのち、4月に70 mm以上、5月に80 mm以上平年値を上回った。4・5月のまとまった降水は気圧の谷や湿った空気の影響によるものであり、5月上旬には2日間で100 mm近くの総量を記録し、この年最大の降水イベントとなった。6月以降は平年を下回る月が多く、特に9月は70 mm以上、10月は60 mm以上平年を下回った。8月は中旬に台風7号の影響で、12月も中旬に前線などの影響でそれぞれ50 mm、30 mmを超えるまとまった降水イベントがあり、平年並みとなった。流出水量は寡雨だった前年の影響を引きずって、両谷とも3月までは平年比20%前後で経過していたが、4月に北谷では平年並み、南谷では平年比70%以上となり、5月には北谷で60 mm以上、南谷で40 mm近く平年を上回った。6月には両谷とも再び平年比70%台に低下したが、7月は上旬のまとまった降水で基底流出が高くなり平年並みとなった。しかし8月以降は10月にかけて、北谷では8%から1%へ、南谷では20%から6%へ急速に平年比は減少した。その後は降水量が平年並みとなったため、北谷では17%へ、南谷では24%へと年末にかけて平年比は増加した。

平年値にも共通して月降水量の変動に対する月流出水量の変動が相対的に北谷で大きい傾向は、土壌の厚さなどの地質的要因が大きく影響しているものと思われる(細田, 2023)。大部分を厚い風化帯を伴う古生層を基岩とする南谷と比べ、北谷の右岸斜面の広い範囲は火成岩を基岩としており、人為的な影響もあり土壌が薄いため降雨の地下浸透、すなわち水源涵養機能による流出遅延効果が流域全体として南谷よりも小さい。このため大雨に際してより大きな出水となり、北谷の流出率は南谷よりも大きくなる傾向がある。また、両流域は1980年頃の大規模なマツ枯れからの森林蓄積の増加過程の中にある。特に南谷はほぼ全面植栽されたクロマツが失われ、コナラ優勢な二次林が成長を続けている。新旧平年期間はまさにその成長過程にあり、新平年期間の方がより水消費の多い状態にあったと考えられる。南谷は北谷に比べて水源涵養機能は大きい、地下浸透した水の移動が遅いため植被による水消費の要求に十分応える一方、それにより水移動はさらに遅延する(谷・細田, 2012; 細田, 2022)。このため平年値の比較においては、月降水量の減少に対する月流出水量の低下の感度が南谷で大きくなったと考えられる。本観測元来の推察が示す通り、森林の水源涵養機能の実態は、地質由来の流域固有の流出特性に加えて、植被状態による水消費、および地中の水移動の連動性を考慮して長期的な観点から解明していく必要がある。

引用文献

- 後藤ら(2005) 竜ノ口山森林理水試験地観測報告(1981年1月～2000年12月). 森林総合研究所研究報告, 4(1), 87–133.
- 細田(2012) 基盤事業: 森林水文モニタリングー竜ノ口山森林理水試験地ー. 森林総合研究所関西支所年報, 52, 47.
- 細田(2022) 山地小流域の地下水変動と水流出の観測. 「砂防の観測の現場を訪ねて」出版プロジェクト委員会編 "砂防の観測の現場を訪ねて3～水の動きの不思議～", 砂防学会, 91–102.
- 細田(2023) 竜ノ口山森林理水試験地観測報告(2011年1月～2015年12月). 森林総合研究所研究報告, 22(2), 89–107.
- 気象庁(2023a) エルニーニョ監視速報, 369, 7pp.
- 気象庁(2023b) 令和5年梅雨期の大雨と7月後半以降の顕著な高温の特徴と要因について. 報道発表, 令和5年8月28日, 18pp.
- 気象庁(2024) 気候変動監視レポート2023. 9–15.
- 谷・細田(2012) 長期にわたる森林放置と植生変化が年蒸発散量に及ぼす影響. 水文・水資源学会誌, 25(2), 71–88.

基盤研究2ア k1：収穫試験地における森林成長データの収集

齋藤和彦・田中邦宏・田中真哉（森林資源管理研究グループ）・鷹尾元（関西支所長）

1. はじめに

地獄谷アカマツ天然林その他択伐用材林作業収穫試験地は、奈良森林管理事務所管内、奈良市高畑町地獄谷国有林17林班わ小班に所在する。本試験地はヒノキ択伐林誘導区（ヒノキ誘導区、第1分地）、スギ択伐林誘導区（スギ誘導区、第2分地）、自由施業区（第3分地）の3つの分地からなり、各分地の施業方針は以下の通りである（当初の試験設定）。1922（大正11）年にアカマツの一部を伐採し、1923（大正12）年2月にヒノキ、スギを補植する。第1分地（ヒノキ誘導区）、第2分地（スギ誘導区）：回帰年20年とする択伐作業を行う。択伐率は20～30%を基準とし、大径木、不整形木、ヒノキ、スギの生育を阻害するものより選木する。択伐跡地には第1分地ではヒノキを、第2分地ではスギを補植する。第3分地（自由施業区）：択伐区と比較のため、主体をアカマツ・齊林におき、更新はヒノキ、スギ、アカマツの天然更新にまかせる。

2. 試験地の概要と観測の方法

面積はそれぞれ0.2648 ha、0.3446 ha、0.3556 haである。海拔高400～450 m、傾斜角10～35°の南東向き斜面に位置し、土壌は洪積層砂壤土のB_B～B_D型である。第15回定期調査までの施業の来歴を表1に示した。1923年、推定46年生のアカマツ天然生林を択伐したあと、1924年にヒノキ・スギを補植した。初期保育は下木林齢14年生までの間に下刈りが6回、つる切りが5回、除伐が1回である。試験は1940年（上木林齢63年生、下木林齢17年生）時に開始し、以後5～9年間隔で成長量調査を反復してきた。

2023年10月、第15回目の定期調査（下木林齢101年生）を行ったので報告する（表2（a）～（c））。調査項目は胸高直径、樹高、生枝下高、寺崎式樹型級区分の毎木調査である。胸高直径は直径巻尺により0.1 cm単位で、樹高および生枝下高はVertex IIIおよびIVにより0.1 m単位で測定し、寺崎式樹型級区分は目視により判定した。また、ヒノキ・スギの樹下植栽木、および天然更新による広葉樹類について、胸高直径が5 cmに達しているものは逐次個体識別の上、測定対象に加えた。なお、今回調査までに確認されている広葉樹としては、アカガシ、アラカシ、カエデ類、カゴノキ、クリ、クロモジ、コシアブラ、シキミ、シラカシ、シロバイ、スダジイ、ソヨゴ、タラノキ、ハイノキ、ヒサカキ、ミズナラ、ヤマモモ、リョウブなどがある。

なお、本試験地は地獄谷石仏等の文化財に近接し、試験地中心を横断する歩道がハイキングコースでもあるため、景観上の配慮が必要となっている。そのため、通常は個体番号と胸高帯は白ペンキで書いているが、前回調査からは比較的目的立たないと思われる黒ペンキを使用して、歩道と反対側のみに書いた。

3. 2023年の観測結果

本試験地では42年生時（1965年）、アカマツに対して材積割合で約30～40%の強い択伐を実施した（表1）。また、1979年頃より松くい虫被害によるアカマツの枯損が目立つようになったこともあって、現在ではいずれの分地においてもアカマツは消失している。1924年の補植木は、ヒノキ誘導区・スギ誘導区においてはアカマツの疎開に伴って旺盛な材積成長を示すようになっていた。ヒノキ誘導区は101年生現在、おおむねヒノキの純林となっており、最近5年間のヒノキの連年成長量（表2（a）注1）参照）は17.9 m³/ha/年であった。一方、「紀州地方ヒノキ林分収穫表」の100年生時では、主副林木合計の連年成長量は1等地で6.6 m³/ha/年である。これには、試験区における立木密度の高さが大きく影響しているものと推察された。ただし、平均樹高は3等地程度の水準にとどまっており、アカマツの庇陰下にあったことが影響していたと考えられた。スギ誘導区は本数密度ではヒノキの混交率の方がスギよりも高くなっているものの、スギとヒノキをあわせた総成長量（表2（a）注2）参照）は、ヒノキ誘導区を8.7%ほど上回っていた。これにはスギの成長の速さが影響しているものと推察された。自由施業区は試験地設定当初の択伐率が小さく、42年生まで

600 本/ha 程度のアカマツ上木が残存しており、ヒノキ・スギ下木の成長が抑制されていたと考えられた。96 年生（2023 年）時点のスギ・ヒノキの総成長量は約 623 m³/ha であり、ヒノキ誘導区、スギ誘導区のそれぞれ 71%、65% に過ぎない。

表 1 調査と施業の来歴

調査回	調査年月	林齢	施業等	第 1 分地			第 2 分地			第 3 分地		
				ヒノキ択伐林誘導区間伐率			スギ択伐林誘導区間伐率			自由施業区間伐率		
				本数 (%)	幹材積 (%)	平均 直径比	本数 (%)	幹材積 (%)	平均 直径比	本数 (%)	幹材積 (%)	平均 直径比
1	1940.02	17	間伐	8.2	10.3	1.27	9.4	10.9	1.04	4.7	4.5	0.97
2	1949.12	27										
3	1955.02	32	第 3 分地 のみ間伐							0.5	0.1	0.62
4	1960.02	37										
5	1965.02	42	間伐	9.6	44.4	2.24	11.2	35.2	1.79	12.5	27.8	1.48
6	1970.02	47	間伐	2.1	0.8	0.73	3.6	1.8	0.75	6.8	7.8	1.06
7	1976.02	53										
8	1986.12	64	第 2, 3 分地 のみ間伐				7.2	22.6	1.88	2.5	12.9	2.47
9	1991.10	69	間伐	15.5	14.4	0.99	12.1	14.8	1.20	2.6	5.4	1.62
10	1996.10	74										
11	2001.11	79										
12	2007.10	85										
13	2012.10	90										
14	2018.10	96										
15	2023.10	101										

注 1) 林齢は下木の林齢である。

注 2) 伐採率はすべての樹種込みの値である。

注 3) 平均直径比 = 伐採木の平均胸高直径 / 伐採前の平均胸高直径

表 2 (a) 第 1 分地（ヒノキ誘導区）における林分統計量

グループ	平均 胸高直径	平均 樹高	本数密度	断面積 合計	幹材積 合計	累積間伐 材積	累積枯死 材積	幹材積純成長量		
								定期平均 成長量	総成長量	総平均 成長量
	(cm)	(m)	(/ha)	(m ² /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha/年)	(m ³ /ha)	(m ³ /年)
アカマツ						179.9	153.6		179.9	1.8
ヒノキ	36.3	23.6	566	67.97	857.4	65.9	90.8	17.9	923.2	9.1
スギ	44.1	20.1	19	4.33	49.8	0.9	0.2	1.3	50.7	0.5
モミ	102.6	27.0	4	3.12	36.7	0.0	0.1	1.0	36.7	0.4
広葉樹	11.3	9.1	204	3.54	27.9	3.3	3.7	1.3	31.2	0.3
すべて	30.4	19.8	793	78.96	971.7	250.0	248.3	21.5	1221.7	12.1

注 1) 連年成長量：(期末の材積 - 期首の材積) / 期間の年数 (m³/ha/年)

注 2) 総成長量：現在の林分材積 + 現在までの伐採材積の累計 (m³/ha)

注 3) 総平均成長量：ある林齢 t における材積を V_t としたとき、V_t/t 伐採率はすべての樹種込みの値である。

表2 (b) 第2分地（スギ誘導区）における林分統計量

グループ	平均 胸高直径 (cm)	平均 樹高 (m)	本数密度 (/ha)	断面積 合計 (m ² /ha)	幹材積 合計 (m ³ /ha)	累積間伐 材積 (m ³ /ha)	累積枯死 材積 (m ³ /ha)	幹材積純成長量		
								定期平均 成長量 (m ³ /ha/年)	総成長量 (m ³ /ha)	総平均 成長量 (m ³ /年)
アカマツ						214.2	122.7		214.2	2.1
ヒノキ	29.6	20.1	406	36.10	435.8	40.3	20.0	10.4	476.1	4.7
スギ	40.2	23.9	252	42.16	505.3	77.6	26.8	10.6	582.8	5.8
モミ	63.9	28.9	3	0.93	12.5	6.1	0.0	0.5	18.5	0.2
広葉樹	12.2	9.4	186	3.89	29.6	1.1	5.1	0.7	30.7	0.3
すべて	29.0	18.9	847	83.08	983.1	339.3	174.5	22.2	1322.4	13.1

表2 (c) 第3分地（自由施業区）における林分統計量

グループ	平均 胸高直径 (cm)	平均 樹高 (m)	本数密度 (/ha)	断面積 合計 (m ² /ha)	幹材積 合計 (m ³ /ha)	累積間伐 材積 (m ³ /ha)	累積枯死 材積 (m ³ /ha)	幹材積純成長量		
								定期平均 成長量 (m ³ /ha/年)	総成長量 (m ³ /ha)	総平均 成長量 (m ³ /年)
アカマツ						148.4	295.2		148.4	1.5
ヒノキ	24.3	16.9	560	35.46	374.2	10.8	25.9	7.8	385.0	3.8
スギ	32.9	20.5	259	27.91	288.1	14.4	21.2	4.5	302.5	3.0
モミ	58.5	18.8	3	0.76	6.7	0.0	1.1	0.2	6.7	0.1
広葉樹	15.3	11.8	90	2.14	15.8	0.0	4.2	0.7	15.8	0.2
すべて	26.0	17.4	911	66.27	684.8	173.7	347.6	13.2	858.5	8.5