

金華山における土壤酸性化と現地ライミングの評価

大同工業大学 正会員 ○堀内 将人
富士植木 正会員 阪根 一輝

1. はじめに 1-1 目的 当研究室では、3年前より金華山を調査対象として、土壤酸性化の現状、樹木への影響、および有効な中和対策について調査・検討している。本研究はこれまでの検討結果をふまえ、以下のように研究目的を設定した。1. 金華山の土壤を斜面ごとに採取し、土壤酸性化の特性を総合評価する。2. 2003年11月に現地で行ったライミングに関して、現地土壤の回復経過を継続調査するとともに、中和機構について考察する。

1-2 金華山の概要 金華山は標高328.9mで、岐阜市内を貫流する長良川の左岸に位置する。植生は約60%が椎型の常緑広葉樹で、20ヘクタールは国有林として管理されている。ツブラジイが多く、樹齢100年以上の樹木も見られる。母岩は環境省が実施している酸性雨調査地点⁽¹⁾の伊自良湖周辺と同様にチャートで構成されており、表層土壌は非常に薄い。平成12年あたりから樹木の立ち枯れが目立ちはじめ、市民やマスコミ等から金華山の景観や将来を危惧する声が強くなっている。岐阜市は2004年度、岐阜城へのアプローチ整備や市民協働による金華山再生の動きを本格化させると発表した。

2. 土壌採取地点及び採取方法 2002年から2004年にかけて、計4回金華山の各斜面の土壌を採取した。土壌は上層(0~5cm)と下層(10~15cm)に分けて採取した。現地ライミング地点も同様に、上層と下層の土壌の採取を行った。土壌採取地点を図-1に示す。

3. 分析項目および分析方法 分析項目は、pH(H₂O, KCl)、間隙水pH、交換性陽イオン、間隙水陽イオン、間隙水陰イオン、水溶性陽イオン、水溶性陰イオン、CEC(陽イオン交換容量)、塩基飽和度である。分析イオンは、陽イオンがNH₄⁺、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Al³⁺、Fe³⁺の7項目、陰イオンがNO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻の3項目である。陽・陰イオン濃度は、Al³⁺を除き原子吸光分析器(Shimadzu, AA-6200)およびイオンクロマト分析器(YOKOGAWA, IC-7000)により定量した。Al³⁺はICP質量分析器(YOKOGAWA, HP-4500)により定量した。

4. 分析結果及び考察 土壌の化学的特性を表1に、間隙水中の化学的特性を表2に示す。表中の樹木衰退度はドイツでの分類に習い、値が大きいほど衰退が激しく、完全枯損を4としている。(1)pH 昨年の調査と同様、間隙水pH、pH(H₂O)ともにすべての地点でpH4前後を示しており、土壌が強く酸性化していることがわかる。すべての地点でO層よりA層の方が高い値を示した。表層から酸性化が進行していることがわかる。これまでの調査結果で、衰退度が高い地点ほどpHが低い傾向を得ている。(2)間隙水陽・陰イオン濃度 pHが約4.2以下になると土壌を構成するAl³⁺が溶解し、間隙水中Al³⁺濃度が高くなる。間隙水中Al³⁺濃度が0.1mmol(+) / L以上になると植生に対して毒性を示すという報告⁽⁴⁾がある。今回調査したすべての地点において間隙水中Al³⁺濃度は0.1mmol(+) / Lを大きく超えている。この観点からは、調査した土壌は樹木に対して毒性を示すレベルにあると考えられる。間隙水陰イオン濃度について七曲り登



表1 試料土壌の交換性陽イオン (mmol(+) / kgDS), CEC (mmol(+) / kgDS), 塩基飽和度(%)									
登山道	地点番号	土層	陽イオン	CEC	Ca(%)	Na(%)	塩基飽和度	衰退度	
七曲り登山道	地点1	O層	46.13 5.98 2.96 1.09 3.29 387	15.80	14.49	0.44	0		
		A層	11.35 2.13 1.22 0.96 4.07 261	3.32	5.01	0.01			
	地点2	O層	27.13 4.84 1.00 1.46 4.03 344	4.42	11.17	0.12	2.5		
		A層	4.17 2.39 1.30 1.15 6.40 225	1.02	3.99	0.02			
	地点3	O層	40.77 5.37 2.43 1.18 9.93 385	4.05	12.92	0.14			
		A層	0.93 1.54 1.19 0.79 17.29 306	0.09	1.45	0.01			
	地点4	O層	11.06 4.99 3.04 1.05 14.67 370	1.09	5.44	0.01			
		A層	0.26 1.79 1.99 0.80 23.09 306	0.09	1.58	0.01	1		
	地点5	O層	22.60 5.15 1.88 0.46 6.30 325	4.40	9.24	0.02	4		
		A層	40.41 3.88 2.88 0.38 6.06 140	7.29	33.93	0.03			
	地点6	O層	0.33 1.07 2.39 0.38 10.05 193	0.14	2.16	0.01			
		A層	28.25 2.85 4.08 0.35 8.75 180	3.56	19.72	0.02			
馬の背登山道	地点7	O層	18.88 7.70 4.29 0.54 15.96 822	1.45	8.58	0.01	1		
		A層	1.38 2.82 2.46 1.06 26.59 858	0.16	0.90	0.01			
	地点8	O層	23.15 3.08 5.29 1.35 4.55 224	7.08	17.35	0.02	4		
		A層	1.46 3.77 3.44 0.85 11.11 625	0.47	1.52	0.01			
	地点9	O層	29.76 8.65 4.26 0.43 2.46 855	15.61	5.04	0.02	4		
		A層							
	地点10	O層	26.61 13.34 5.80 0.94 4.05 1173	9.86	3.98	0.04	0		
		A層	0.27 2.62 1.53 0.65 2.71 613	1.07	0.83	0.01			
	地点11	O層	4.85 7.19 5.34 1.03 5.46 1385	2.21	1.39	0.01			
		A層	0.20 2.10 1.90 0.61 10.46 511	0.22	0.94	0.01			
	地点12	O層	4.69 14.44 13.22 2.03 2.15 1093	62	3.37	0.01			
		A層	0.00 1.59 2.72 0.51 14.90 260	0.11	1.85	0.01			
地点13	O層	2.88 3.24 2.82 1.20 2.37 505	2.58	2.40	0.01	2			
	A層	1.08 1.20 0.93 0.48 1.77 132	0.78	2.78	0.01				
南東斜面	地点14	O層	34.17 18.92 10.89 1.74 2.96 1482	17.92	4.01	0.02			
		A層	0.82 2.21 2.78 0.46 8.26 251	0.37	2.80	0.01			
斜面	地点15	O層	6.97 4.40 6.86 1.21 3.46 761	2.16	5.42	0.01			
		A層	0.00 1.49 5.94 0.54 11.95 224	0.13	3.56	0.01			
東坂	地点16	O層	3.79 5.60 6.16 0.93 7.31 632	1.28	2.61	0.01			
		A層	0.00 0.93 4.45 0.54 19.63 489	0.13	1.54	0.01			
七曲り登山道 取壊パレット	地点17	O層	12.26 10.30 12.36 1.97 5.42 688	4.16	4.15	0.01			
		A層	1.07 3.16 2.26 0.80 2.63 240	0.85	2.21	0.01			
七曲り登山道	地点18	O層	11.59 10.58 11.80 1.80 2.30 389	4.46	15.41	0.01			
		A層	0.26 2.31 3.45 0.58 27.98 335	0.09	1.97	0.01			
馬場H C	地点19	O層	28.96 14.42 6.84 2.12 0.10 689	426.49	7.83	0.01			
		A層	0.06 2.09 2.51 0.80 31.38 360	0.07	1.52	0.01			
東坂H C	地点20	O層	19.21 7.13 57.49 3.00 1.72 839	15.34	10.35	0.01			
		A層	4.63 0.09 20.62 1.66 3.46 761	0.22	5.42	0.01			
東坂H C	地点21	O層	12.77 4.89 15.56 1.32 8.98 188	1.97	17.43	0.01			
		A層	1.21 2.23 10.34 0.90 15.76 109	0.42	8.68	0.01			
七曲り登山道 室内パレット	地点22	O層	0.36 2.87 3.07 1.59 19.77 504	0.17	1.56	0.01			
		A層	14.97 6.33 5.47 1.65 1.44 216	14.79	13.18	0.01			
七曲り登山道	地点23	O層	0.59 1.69 1.36 0.70 9.28 184	0.24	3.30	0.01			
		A層							

原産地：(落葉率) 0: (0~10%) 1: (11~25%) 2: (26~60%) 3: (60~100%) 4: (完全枯死)

陽イオン：(mmol(+) / kgDS) 0: (0~15) 1: (15~35) 2: (35~55) 3: (55~75) 4: (75~100)

表2 試料土壌の間隙水中陽イオン陰イオン (mmol(+) / L)										
登山道	地点番号	土層	間隙水 pH	間隙水陽イオン濃度 (mmol(+) / L)					間隙水陰イオン濃度 (mmol(+) / L)	
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Fe ³⁺	NO ₃ ⁻	
七曲り登山道	地点1	O層	4.0	1.55	0.62	0.33	0.35		0.59	0.38
		A層	3.7	0.88	0.49	0.37	0.40	0.41	0.43	0.31
	地点2	O層	3.5	1.48	0.53	0.13	0.42		0.05	0.60
		A層	3.6	0.64	0.36	0.31	0.34	0.29	0.45	0.75
	地点3	O層	4.1	0.40	0.19	0.12	0.40	0.13	0.29	0.35
		A層	3.6	2.04	1.04	0.69	0.35	1.15	0.59	4.59
	地点4	O層	3.9	0.67	0.32	0.24	0.18		0.03	0.72
		A層	5.2	2.32	0.11	0.97	1.43		0.53	0.15
	地点5	O層	3.8	0.19	0.09	0.03	0.04	0.05	0.00	0.29
		A層	4.0	0.09	0.05	0.03	0.08	0.03	0.00	0.18
	地点6	O層	3.6	0.12	0.06	0.06	0.07	0.08	0.02	0.21
		A層	3.7	0.16	0.06	0.04	0.20	0.04	0.10	0.26
馬の背登山道	地点7	O層	4.0	0.16	0.20	0.15	0.07	0.15	0.02	0.20
		A層	3.6	0.10	0.03	0.07	0.07	0.05	0.20	0.03
	地点8	O層	3.6	0.10	0.03	0.07	0.07	0.05	0.20	0.03
		A層	4.0	0.05	0.01	0.03	0.08	0.02	0.07	0.15
	地点9	O層	3.6	0.03	0.02	0.13	0.08	0.13	0.05	0.14
		A層	3.7	0.11	0.05	0.04	0.11	0.07	0.07	0.26
	地点10	O層	3.5	0.14	0.02	0.15	0.09	0.17	0.34	0.28
		A層	4.3	0.18	0.56	0.07	0.21	0.11	0.04	0.24
	地点11	O層	3.6	0.32	0.97	0.17	0.11	0.35	0.12	0.30
		A層	4.4	0.15	0.19	0.05	0.09	0.14	0.00	0.16
	地点12	O層	4.1	0.19	0.52	0.13	0.14	0.14	0.04	0.27
		A層	4.5	0.12	0.20	0.04	0.12	0.10	0.01	0.13
七曲り登山道 取壊パレット	地点13	O層	4.1	0.41	0.75	0.08	0.07		0.00	0.27
		A層	4.3	0.21	0.50	0.02	0.07		0.00	0.23
	地点14	O層	3.7	0.19	0.73	0.18	0.16	0.13	0.12	0.34
		A層	4.6	0.36	0.40	0.04	0.12	0.03	0.06	0.15
	地点15	O層	3.5	0.57	0.38	0.57	0.34		0.04	0.32
		A層	4.1	0.24	0.14	0.23	0.30	0.02	0.49	0.70
	地点16	O層	3.3	0.22	0.20	0.32	0.33	0.02	0.44	0.21
		A層	3.3	0.14	0.11	0.32	0.02	0.24	0.32	0.59
	地点17	O層	3.3	0.14	0.11	0.32	0.02	0.24	0.32	0.59
		A層	3.4	0.15	0.13	0.21	0.31	0.02	0.12	0.37
	地点18	O層	4.1	0.53	0.21	0.18	0.15		0.01	0.03
		A層	4.0	0.33	0.14	0.18	0.09	0.01	0.03	0.40
東坂H C	地点19	O層	3.6	0.21	0.14	0.11	0.22	0.02	0.24	0.43
		A層	4.2	0.15	0.09	0.09	0.41	0.01	0.05	0.28
	地点20	O層	4.3	0.30	0.13	0.10	0.44	0.01	0.06	0.34
		A層	4.3	0.30	0.13	0.10	0.44	0.01	0.06	0.34
	地点21	O層	4.0	0.33	0.14	0.18	0.09	0.01	0.03	0.40
		A層	3.6	0.21	0.14	0.11	0.22	0.02	0.24	0.43
	地点22	O層	4.2	0.15	0.09	0.09	0.41	0.01	0.05	0.28
		A層	4.3	0.30	0.13	0.10	0.44	0.01	0.06	0.34

[衰退度：(落葉率)] 0: (0~10%) 1: (11~25%) 2: (26~60%) 3: (60~100%) 4: (完全枯死)

キーワード 樹木衰退、土壤酸性化、現地ライミング、アルミニウム毒性

連絡先 〒457-8532 名古屋市南区白水町40 大同工業大学工学部 堀内将人 TEL 052-612-5571

山道では NO_3^- が支配的で、東坂ハイキングコース地点 21 においては NO_3^- と Cl^- が支配的で SO_4^{2-} は非常に少ない。しかし東坂ハイキングコース地点 22 では NO_3^- の割合が多い。地点 22 では酸性雨による酸の付加以外に、生物による硝化反応によって生成された水素イオンが土壌の酸性化を促進した可能性もある。(3)交換性陽イオン 交換性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 濃度は有機分の多い 0 層で高く、A 層は低い値を示している。 Ca^{2+} と Mg^{2+} を比較すると、 Ca^{2+} が多く Mg^{2+} は少ない。植物の根に対して毒性を示す Al^{3+} に関しては、検出できない箇所があった。これは、pH の低下によって溶出する Al^{3+} 量に上限があり、pH がさらに低下すると交換態 Al が溶脱するためではないかと推定される。斜面別に考察を行うと七曲り登山道で平均 $10.9\text{mmol}(+)/\text{kg}$ 、馬の背登山道で平均 $11.2\text{mmol}(+)/\text{kg}$ の濃度を示した。鼻高ハイキングコースでは 2 地点ではあるが、平均 $29.6\text{mmol}(+)/\text{kg}$ と他の地点に比べ高い濃度を示した。また、0 層より A 層の方が交換性 Al^{3+} 濃度が高く、間隙水 pH が 4 前後において交換性 Al^{3+} 濃度が最も高くなっている。樹木の根に対して毒性を示す指標として $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{Al} < 1^{(6)}$ がある。金華山のほとんどの地点の A 層において、 $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{Al} < 1$ の指標が 1 以下を示し樹木の根に対して毒性を示している。樹木は栄養や水分を主として A 層から取り込むため、この結果は重要である。

5. 現地ライミングによる土壌中和 5-1 ライミング 七曲登山道入り口から徒歩 10 分弱の地点約 1.6m^2 をライミングエリアとした。ライミングエリアは、図 1 の地点 22 である。現地では、枝や落ち葉の除去（各中和剤による条件統一化）を行い、中和剤干渉防止板（中和剤が流出して干渉することを防止する板）を設置している。土壌中和剤には 3 種類の石灰（炭酸カルシウム、酸化カルシウム、水酸化カルシウム）を使用した。各石灰および栄養塩として石灰と等モル量の MgSO_4 、 KCl を約 600cc の精製水に溶かし、噴霧器により施用エリアへ散布した。

5-2 結果と考察 図-2 と図-3 に、上層と下層の各中和剤における間隙水 pH の変化を示す。ライミング直後、上層土壌で急激に間隙水 pH が回復している。しかし、下層においては 1 週目から 2 週目にかけて間隙水 pH が急激に低下している。施用した中和剤に含まれている Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ が上層の土壌に吸着していた H^+ とイオン交換し、間隙水中に脱離した H^+ が下層に流れてきたためではないかと推察される。同様の傾向は室内カラムライミング実験でも観察された。8 週目から 17 週目にかけて間隙水 pH の一時的な低下がみられ、この時期の降水量が少ないことから、施用した中和剤が下方に浸透していないと考えられる。45 週目から 62 週目にかけても間隙水 pH が低下している。この時期は降水量が多く、中和剤がすべて下方に浸透したのではないかと推察している。図-4、図-5 に、炭酸カルシウム施用地点の、下層における間隙水中の Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、および Al^{3+} 濃度を示す。間隙水中の陽イオンについては Ca^{2+} が支配的である。しかし 35 週目を経過したあたりから、 Ca^{2+} イオンの低下が著しく、同様に間隙水 pH も低下している。また間隙水中の Al 濃度は 1 週目から 2 週目にかけて急激に濃度が低下した。その後 $0.1\text{mmol}(+)/\text{L}$ 前後の濃度で推移しているが、依然として樹木の根に対して毒性を示す濃度である。

- 6. おわりに** (1) 現地金華山の土壌は pH が非常に低く、 Al^{3+} 濃度が樹木に対して毒性を示す濃度を上回っている。
 (2) 現地ライミング実験及びカラム実験ともに、中和剤による H^+ とのイオン交換により、一時的に pH が低下する傾向が見られた。
 (3) 土壌構造の発達による水みちの形成等により、室内カラム実験ほど現地ライミングは有効に働かなかった。今後は、現地での有効なライミング方法について、より詳細に検討する必要がある。

謝辞 本研究の分析においてご協力いただいた京都大学原子炉実験所の福谷哲助手、大同工業大学の下島榮一教授、大同工業大学大学院大島一朗氏、同 4 年生須賀亮裕氏、西尾雄太氏、森井勝勲氏、金華山の調査および現地ライミングにご協力いただいた岐阜森林管理署の岩塚伸人管理官、酒向篤憲係長に深謝の意を表します。

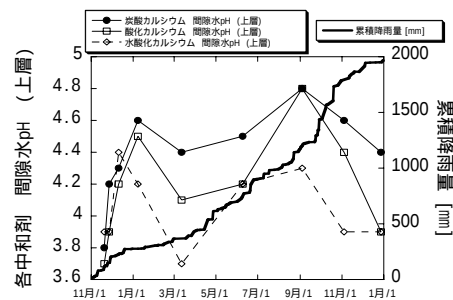


図-2 各中和剤における間隙水 pH 変化（上層）

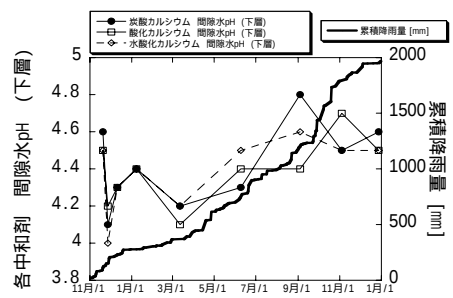


図-3 各中和剤における間隙水 pH 変化（下層）

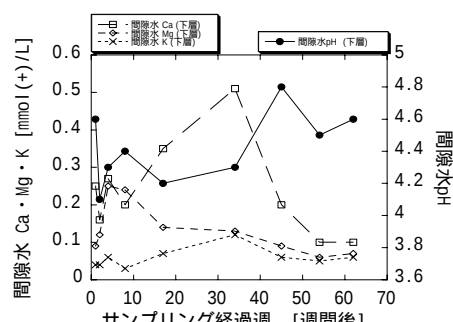


図-4 炭酸カルシウム施用下層

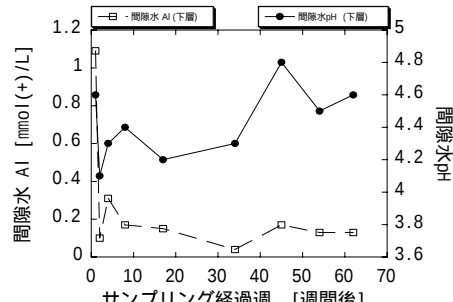


図-5 炭酸カルシウム施用下層