

広島県花崗岩山地の崩壊斜面における土壌カテナ

成岡 朋弘*・小野寺 真一**

*: 広島大学大学院生物圏科学研究科

** : 広島大学総合科学部

Soil catena along a collapsed mountainous slope underlain by granitic rock in Hiroshima Prefecture

Tomohiro NARUOKA* and Sin-ichi ONODERA**

* : *Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University, 1-7-1,*

Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, 739-8521, Japan

** : *Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, 1-7-1,*

Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8521, Japan

Abstract : To clarify soil catena and its characteristics of mountainous slope in temperate region, physical and chemical analysis on soil were conducted for 6 soil profiles along granitic mountainous slope. The soil types were residual soil at upper slope and colluvial soil at lower slope. Soil contents of dissolved Na⁺ and K⁺ were high at upper slope and discharge area, and exchangeable base cation contents.

Keywords : *Soil catena, Granite, Residual soil, Colluvial soil, Recharge area, Discharge area.*

1. はじめに

地表面を覆う土壌は、地上の生態系の物質循環と地下の岩石の風化作用との相互作用によって形成される(大政, 1977)。そのため、気候、植生、地表起伏、地下水等の状況によって生成される土壌は異なる(大政, 1977; 岩坪, 1996, 1997)。Milne (1936) は、東アフリカ、タンザニアの半乾燥地域において、花崗岩小丘から湿地に至る地形縦断面で土壌調査を行ない、そこでの土壌の変化に一定のパターンがあることを明らかにした。そして、この一連の土壌タイプの遷移をカテナ(catena)と定義した。また、日本のような湿潤地域においても、斜面の上部から下部にかけて、同様に土壌タイプの変化が確認された(河田, 1989)。以上のように、土壌カテナは、地形的な高地から移動した物質が低地に集積するといった流域スケールでの物質移動の結果とみることができる。すなわち、土壌カテナの形成には物質移動過程である地形プロセスおよびそれ自体に関与する水移動、さらに、形成された土壌自体の安定性が重要な要素となり得る。土壌の安定性という点では、比較的地殻変動の少ない大陸や、物質が流域外へ輸送されることが少ない乾燥地域で大規模なものがみられる(Milne, 1936)。一方で、湿潤変動帯と定義される(塚本, 1998)日本の山地流域では、斜面の一部でカテナが報告(河田, 1989)されているにすぎず、不明確である。しかし、湿潤地域では、

地形の起伏に起因する地下水流動が小流域スケールで明瞭に生じ (Freeze and Cherry, 1979)、地下水涵養域と流出域で物質移動に伴い酸化還元電位やpHが大きく変化する (Stumm and Morgan, 1981)。そのため、土壌の性質も連続した変化がみられると考えられるが、山地小流域スケールでの土壌カテナは十分に明らかにされていない。

そこで、本研究では、湿潤変動地域の山地小流域で地下水流動系に沿った土壌カテナの存在とその特徴を確認することを目的とする。

2. 研究地域および方法

2.1. 調査地

調査地は広島県東広島市の広島大学構内に位置する山中池集水域の1流域である (図1)。流域は北向きで、頂上部の標高が330m、最下部の山中池の標高が220mである。基盤地質は花崗岩であり、尾根部は広葉樹により覆われている。谷底部は1999年6月の土砂崩れ後の砂防工事により斜面工が施され、流路はコンクリートにより固定されている。図2に調査流域の河床縦断面形および斜面傾斜分布を示す。斜面傾斜は、山中池流入部、標高220m地点で 24° 、流入部から水平距離20m、標高225mまでの区間で $9\sim 23^\circ$ であり、山中池流入部付近で比較的傾斜が急になっている。流入

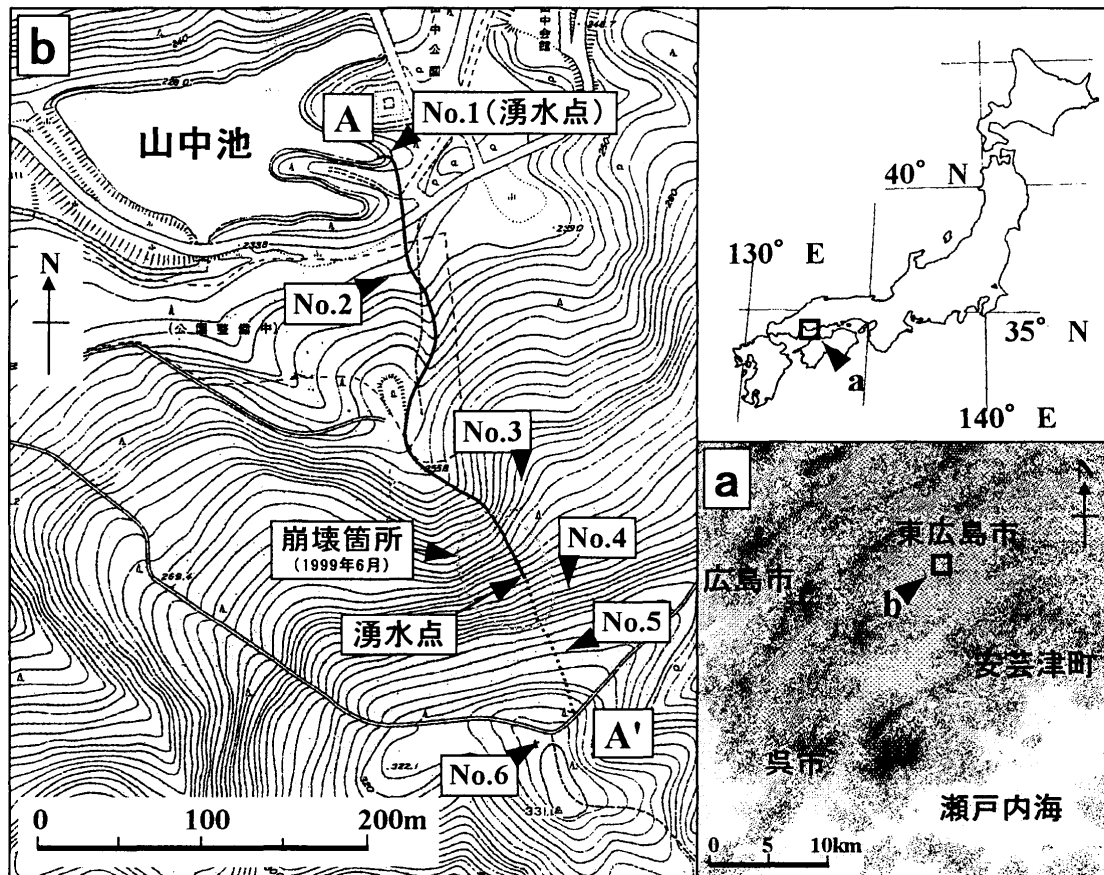


図1 調査地

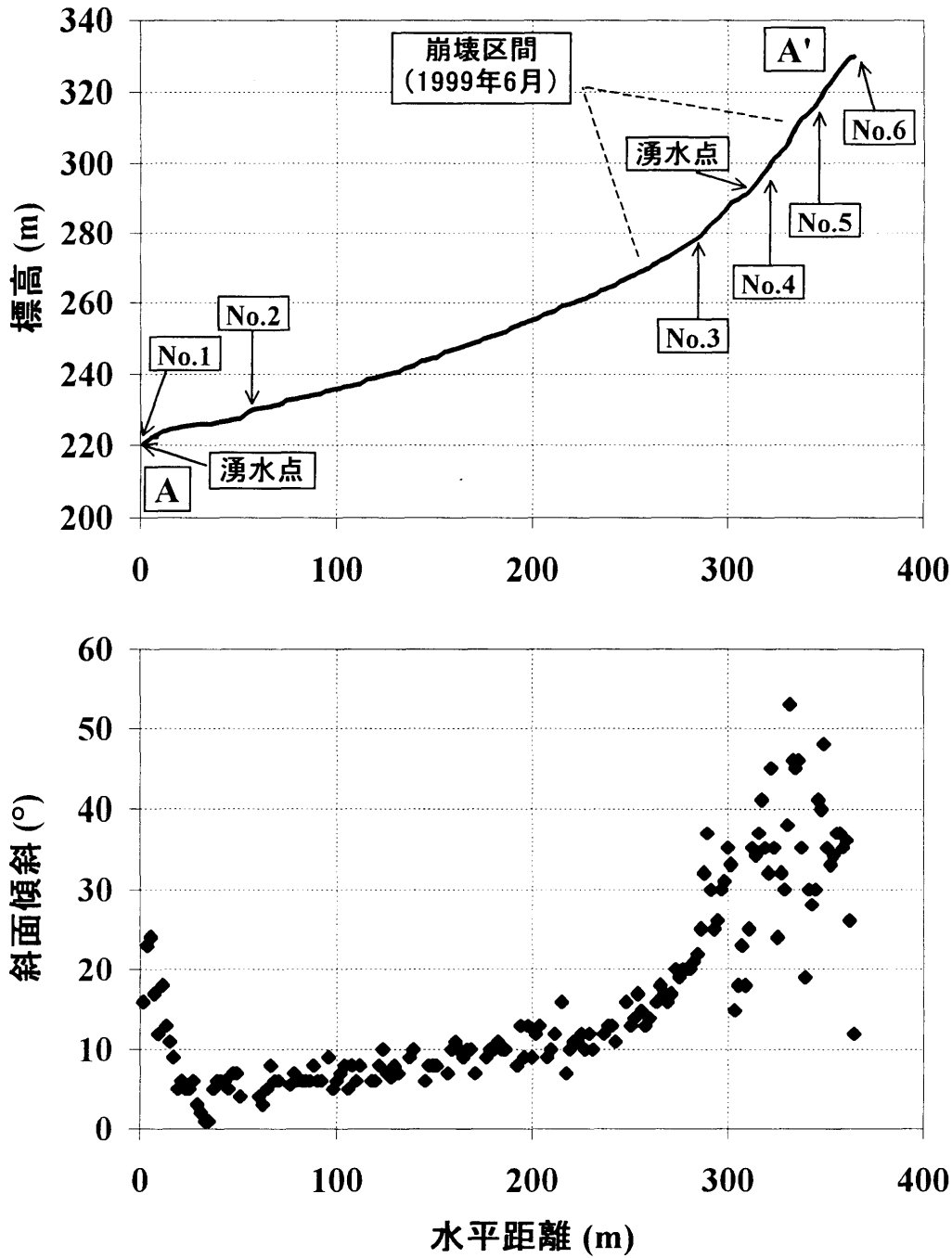


図2 河床縦断面形および斜面傾斜分布

部から250m付近、標高250mまでは5～13°と徐々に傾斜が急になっている。この区間は過去に起きた土石流の堆積域であり、河床縦断面形はほぼ直線的な形態を示した。その上流域においては、流入部から330m付近、標高250～310mにかけて13～50°と急激に傾斜が増加している。この区間は、1999年6月の豪雨時に斜面崩壊が発生した場所である。崩壊区間内の標高290m付近から

は湧水が湧出しており、この付近の傾斜は前後と比較してやや緩やかになっている。流入部から360m、標高330mにかけては、斜面傾斜が13~48°と頂上部に向かって徐々に傾斜が緩やかになっている。

2.2. 方法

調査流域斜面の下部から頂部にかけてNo.1~6の計6地点(図1および2)において土壌調査および土壌試料採取を行った。各地点の標高は、No.1地点が山中池流入部で220m、No.2地点が土石流堆積域末端付近で230m、No.3地点が280m、No.4地点は湧水近傍でおよそ300m、No.5地点が崩壊部直上でおよそ320m、No.6地点が頂上で330mである。土壌調査地点では、斜面上に土壌断面を掘り、土壌層区分、層厚、土質および土色について詳細な記載を行ない、その後、山中式土壌硬度計を用いて土壌硬度を測定した。土色の分類は、小山・竹原(1967)に従った。また、土壌硬度は各測定深度においてそれぞれ10回の測定を行ない、その平均値を用いた。土壌採取は、各土壌層から層厚に応じて1~4試料の採取を行なった。採取した土壌試料は土壌pH(H₂OおよびKCl)、水溶性イオンおよび交換性イオンの分析に供した。土壌pHについては、土壌試料20gに対して蒸留水および1M塩化カリウム溶液をそれぞれ100cc加え、十分に振とうした後ろ過し、抽出液のpHを測定した。また、水溶性陽イオンおよび交換性陽イオンについては、それぞれ、土壌試料20gに対し蒸留水100ccおよび1M酢酸アンモニウム溶液100ccを加え抽出を行ない、ろ過後、抽出液をプラズマ発光分光分析装置(Perkin-Elmer ICP-AES Optima-3000)でNa⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Al³⁺、Siについて定量分析した。

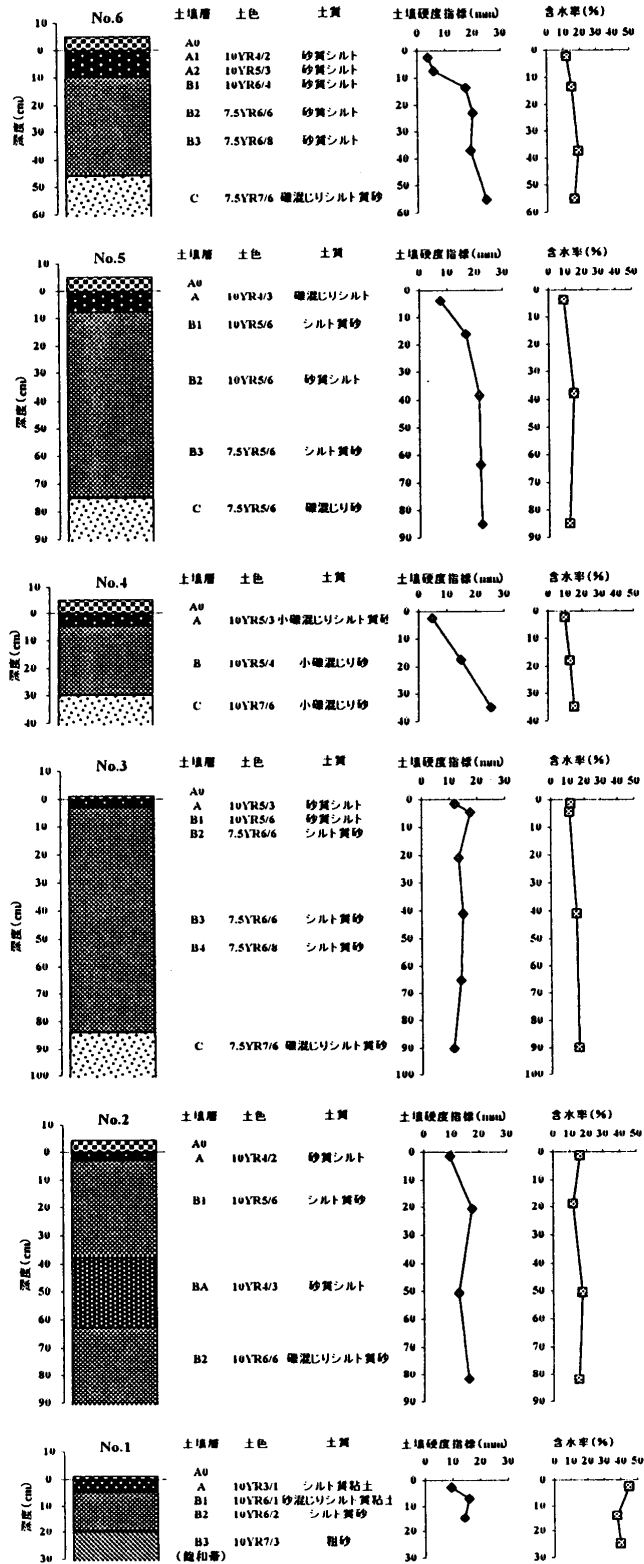


図3 土壌の物理特性

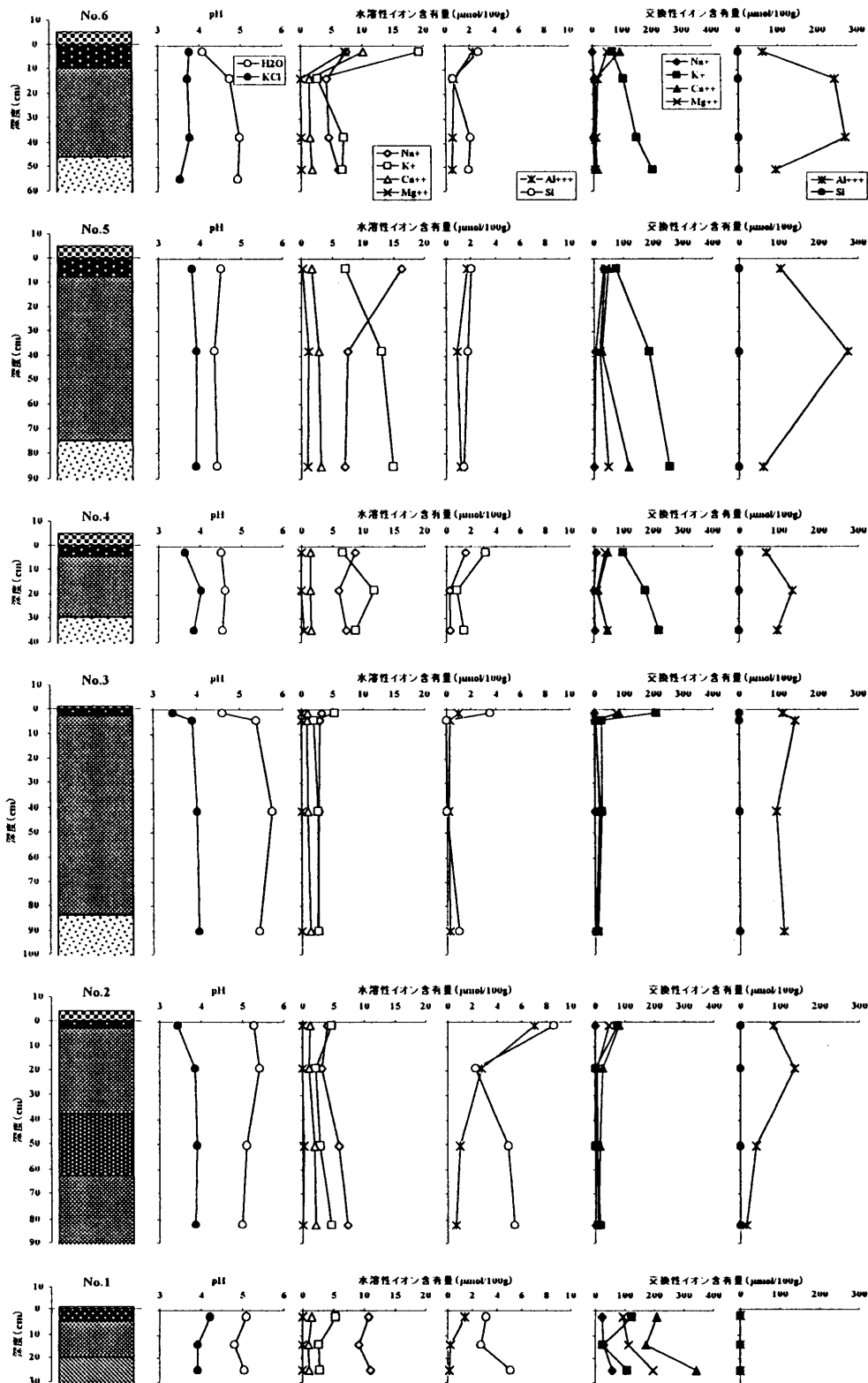


図4 土壌の化学特性

4. 結 果

4.1. 土壌物理特性

土壌断面 No.1～6 地点における土壌の物理特性を図3に示す。ここで、A層とB層およびB層とC層の境界は土色および土質によって判定した。土壌層は、いずれの地点においても地表からB層とC層の境界までの深度が100cm未満で、土壌層位区分は比較的明瞭である。A層の土色は、すべての地点において黄褐色から黒褐色と暗褐色系である。一方、B層は、No.1地点で灰色系であることを除くと褐色系である。C層は、B層よりやや明るい褐色系である。土質は、A層が砂質シルト、B層が砂質シルトまたはシルト質砂、C層がレキ混じりシルト質砂である。なお、No.1地点では、A層に粘土が混じり、また、No.4地点においては土壌断面全体的に小礫が混じる傾向がみられる。土壌層厚はA0層が1～5cm、A層が3～8cmであり、No.5およびNo.6地点では比較的表層土壌の発達が良い。また、B層の厚さは15～97cmであり、No.2およびNo.3地点で厚い。No.2においては、深度約50cm付近に層厚約25cmの埋没A層(BA層)がみられる。また、No.1地点においては、深度20cm付近に地下水面が存在する。土壌硬度は、No.4～No.6地点で、A層からC層に向かって硬度指標が5mmから25mmまで上昇する傾向を示す。一方、他の3地点で、A層およびB層を通じて硬度指標が15mm前後で一定の値を示す。含水率はNo.1地点において40%前後と高い値を示すが、他の5地点においては9～19%で、表層で低く深層に向かって高くなる傾向を示す。

4.2. 土壌化学特性

土壌断面6地点における土壌の化学特性について図4に示す。土壌pH(H₂O)は4.1～5.8であり、特にNo.5およびNo.6地点の表層部で低い傾向を示す。また、土壌pH(KCl)は3.4～4.2であり、No.5およびNo.6で土壌断面全体的に低い。土壌pH(KCl)が土壌pH(H₂O)よりも低い値を示すのは、酸性土壌の場合、吸着性のH⁺量を示す前者が、水溶性のH⁺量を示す後者に比べて大きくなるためである。土壌中の水溶性イオンは、No.1地点においてNa⁺の含有量が高く、また、No.4～6地点においてはNa⁺およびK⁺の含有量が高い。土壌の吸着成分である交換性イオンについては、No.1地点においてCa²⁺およびMg²⁺が、また、No.4～6地点においてはK⁺が卓越する。Al³⁺は、No.2～6地点において高い含有量を示すが、No.1地点においては含有量は0である。No.2およびNo.3地点では、B層およびC層における主要陽イオン(Na⁺、K⁺、Ca²⁺およびK⁺)の吸着はほとんどない。

5. 考 察

斜面を構成する土壌は、斜面の地形プロセスを考慮して残積土、運積土と崩積土に大別できるが、図3に示した土壌層位および土壌硬度の結果から、No.1、No.2およびNo.3地点の土壌が崩積土、No.4地点の土壌が運積土、No.5およびNo.6地点の土壌が残積土であることが推測できる。さらに、No.1地点で地下水面が常時あることから地下水流動系では流出域といえる。一方、それより上流では涵養域であると推察できる。以上から、本小流域の物質移動は、溶存物質がNo.5およびNo.6地点から生産され、pHの上昇したNo.1地点でその多くが集積すると考えられる。また、No.4地点付近で侵食および崩壊した物質が、No.3およびNo.2地点に粗粒物質が堆積し、No.1に細粒物質が堆積すると考えられる。以上のプロセスを考慮し、以下、土壌カテナを化学特性から評価する。図5に土壌中の交換性主要イオンと水溶性主要イオンの関係を示す。残積土が分布するNo.4～6地点を比較する

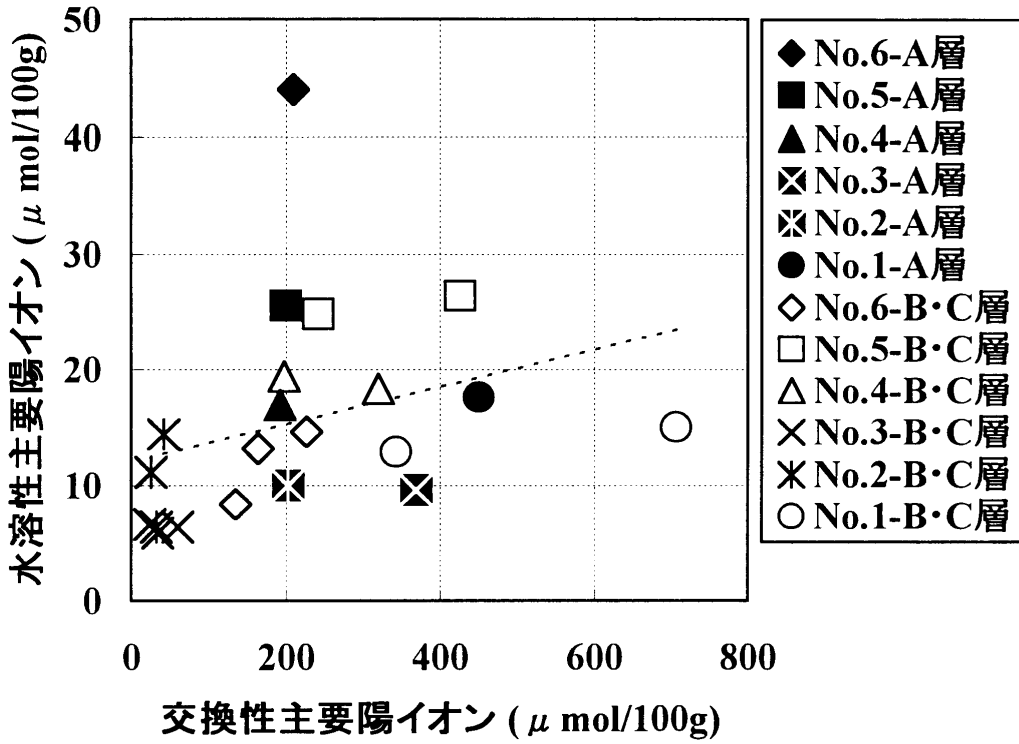


図5 土壌中の交換性主要陽イオンと水溶性主要陽イオンの関係

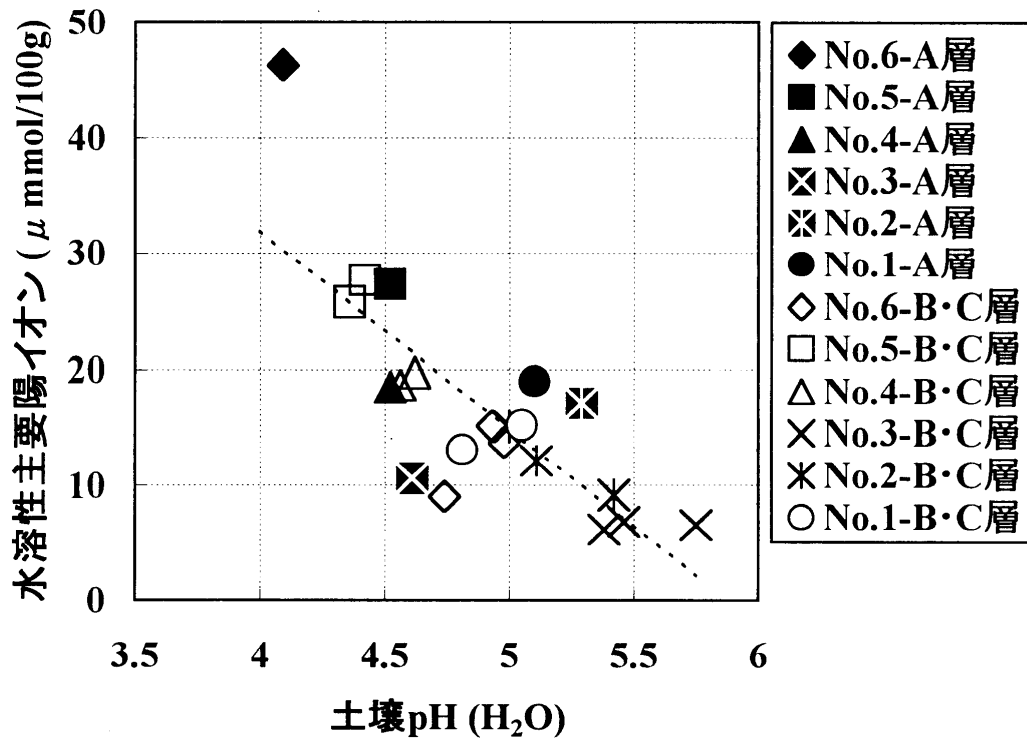


図6 土壌pH (H₂O) と水溶性主要陽イオンの関係

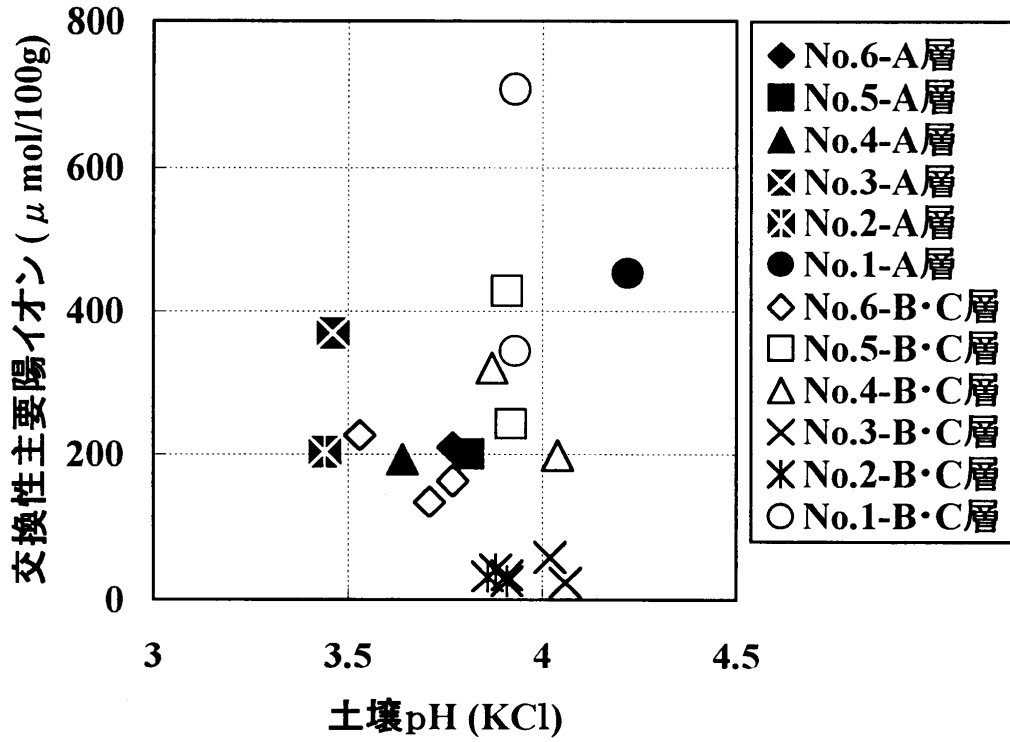


図7 土壌pH (H₂O) と交換性主要陽イオンの関係

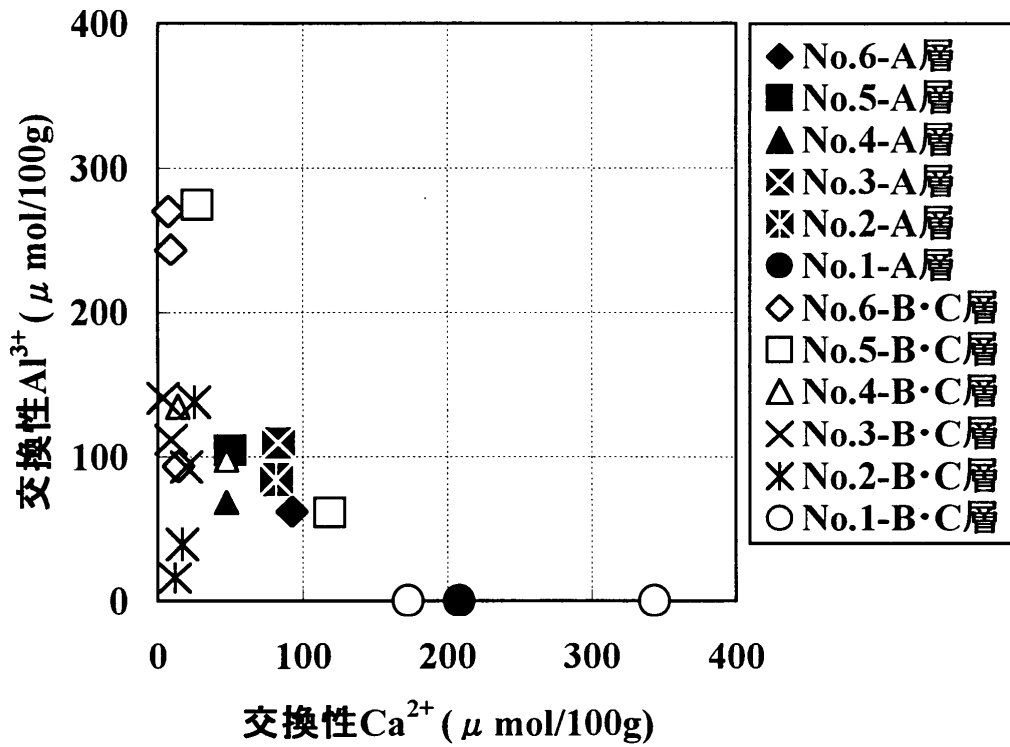


図8 交換性 Ca^{2+} と交換性 Al^{3+} の関係

と、頂上部に位置するNo.6地点において交換性主要イオン、水溶性主要イオンともに低い。崩積土が分布するNo.2およびNo.3地点は、残積土の地点よりも低い傾向を示した。このことは、崩積土が分布する地点においては、土壤の移動に伴いA層が未発達であり、表層からのイオンの供給が無いことを示していると考えられる。残積土が分布するNo.4、No.5およびNo.6地点においては、交換性 K^+ の含有量が極めて多い傾向がみられたが、土壤表層から深層にかけて上昇することを考慮すると、 K^+ が鉱物起源であることが推測できる。図6には、土壤pH (H_2O) と水溶性主要陽イオンの関係を示した。土壤pH (H_2O) の上昇にともなって水溶性陽イオン含有量が低下する傾向が明瞭であり、崩積土のNo.2およびNo.3地点を除くと標高の高い地点ほど土壤pHが低く、水溶性陽イオンが高い傾向が明らかである。一方、図7には土壤pH (KCl) と交換性主要陽イオンの関係を示した。標高の高い地点ほどpHが低く、また、交換性陽イオン含有量も低い傾向が認められる。また、土壤の酸性化の傾向を明らかにするために、図8には交換性 Ca^{2+} と交換性 Al^{3+} の関係を示す。流出域に相当するNo.1地点では、交換性 Al^{3+} の吸着はなく、 Ca^{2+} の含有量が多い。一方、標高の上昇に伴って関係が逆になり、No.6地点においては、交換性 Al^{3+} の含有量が Ca^{2+} の含有量をはるかに上回る。標高が高い上流の涵養域において酸性化の傾向にあり、山中池流入部にあたる流出域では還元状態にあると考えられ、斜面上部の涵養域から下部の流出域にかけて土壤酸性化の状態に一連の変化がみられた。安道ら(2000)は、亜高山帯斜面において斜面上部で下部と比べてより酸性化している傾向を示し、斜面上部では酸緩衝過程が小さいことを確認している。本斜面でも同様の傾向を示すが、No.6地点は他の土壤に比べて最も安定で、そのため、より長い時間さらされているため、塩基がより溶脱しているともいえる。

6. 結 論

広島県東広島市の花崗岩山地斜面における土壤調査により、湿潤な小流域における土壤カテナの特徴について以下の結論が得られた。

- 1) 試験斜面上部から下部にかけての残積土、運積土および崩積土という土壤の変化にともなう土壤層位や土壤硬度等の土壤物理特性および土壤pH、イオン含有量等の土壤化学特性の一連の変化が確認された。
- 2) 涵養域での土壤酸性化および塩基溶出、および流出域での還元状態における塩基吸着の傾向が示され、小流域における水循環という視点のもとでの土壤カテナが確認された。

謝 辞

土壤中の水溶性および交換性イオンの定量分析にあたり、広島大学総合科学部の竹田一彦助教授には大変なご協力をいただいた。記して感謝致します。

引用文献

- 安道幸仁・小野寺真一・成岡朋弘・松本栄次(2000) 亜高山帯山地流域における表層土壤の酸緩衝能—斜面スケールおよび山地スケールでの変動—: 日林誌, 82, 227-233.
- Freeze, R. A. and Cherry, J. A. (1979) *Groundwater*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 604p.
- 岩坪五郎(1996)「森林生態学」文永堂出版、306p.

河田 弘 (1989) 「森林土壌学概論」 博友社、399p.

小山正忠・竹原秀雄 (1967) 「新盤標準土色帖」 日本色研事業、14p.

Milne, G. (1936) A soil reconnaissance journey through parts of Tanganyika Territory December 1935 to February 1936: Journ. of Ecol., 192-266.

大政正隆 (1977) 「土の科学」 日本放送出版協会、225p.

Stumm, W. and Morgan, J. J. (1981) *Aquatic Chemistry* 2nd Ed. John Wiley and Sons, New York, 780p.

塚本良則 (1998) 「森林・水・土の保全 湿潤変動帯の水文地形学」 朝倉書店、134p.