

土の侵食性を規定する土壌因子

田熊勝利*・河野 洋*・肥山浩樹*

平成3年5月31日受付

Soil Factors which Prescribe Soil Erodibility

Katsutoshi TAKUMA*, Hiroshi KONO* and Hiroki HIYAMA*

56 soil specimens which were sampled in Kyushu District, these soil specimens were characterized and divided into Kuroboku soil group, decomposed granite soil group and Red-yellow soil group. In regard to erodibilities of these soil factors which constitute determining indices, were investigated.

The principal component analyses were conducted on respective soil specimens by selecting 12 variables of soil factors which are related to erodibilities of soils. These soil specimens are divided into groups using 12 variables. Each group of soil has characteristic property and is expressed by particular soil factors. Determining indices of soil erodibilities were made clear as follows: aggregate stability and dispersion ratio for Kuroboku soil, grain size distribution of 2-20, 20-53 and $<53\mu\text{m}$ for decomposed granite soil, and coefficient of permeability for Red-yellow soil.

緒 言

土の侵食性を規定する土壌因子は過去国内外で多くの研究者によって提案されてきている。しかし土の侵食性の判定指標として確たる土壌因子はないのが現状である。ここに九州地方に存在する有機質火山灰土の黒ボク、花崗岩風化土のマサ土、そして赤黄色土を選択し実験研究を行った。これら試料土は土色あるいはその性質に特徴があると考えられる。本報の目的は、黒ボク、マサ土と赤黄色土をグループ分けし、その性質を特徴づけ、土の侵食性に関してその判定指標となる土壌因子を確立する

ことにある。

実 験 内 容

a. 侵食実験………人工降雨による供試土の侵食挙動の把握には、実験室に設置された降雨タワー、雨滴形成器、傾斜可変型土槽、回転テーブルを用いた。雨滴形成器は水頭によって降雨強度をコントロールすることができる。また雨滴径は2.4mmであり、雨滴の落下高は150cmであった。なお雨滴径は雨滴を50滴採取し、その質量を測定し、完全な球と仮定して算出した。傾斜可変型土槽は斜面長30cm、幅10cm、深さ5cmである。

* 鳥取大学農学部農林総合科学科生存環境科学講座

Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

実験方法は、実験前の段階として、4.76mmフルイ通過の風乾の試料土が2cm深に充填され、下部2cm深に砂を均一に詰めた。その後、土槽を水平にして下流端の排水孔より給水し、飽和させた後、24時間放置し排水した、すなわち水締め密度状態にて実験を行った。実験は斜面勾配を黒ボクでは8°、マサ土と赤黄色土では15°に設置し、降雨強度(降水量)として50mm/hrにて30分間行った²⁾。

b. 粒度試験………JIS A 1204の粒度試験方法とは異なっている。主な相違点をあげると、次の①, ②, ③, ④である。①H₂O₂による有機物の処理(h_c<1%), ②分散としてHCl添加によりpH 4~3.5かあるいはNaOH添加によりpH 8~10に調整, ③pH調整して分散させた懸濁液を2時間往復振とう, ④10分間の超音波処理。

c. 液性限界試験………黒ボクについては、JIS A 1205を適用し、マサ土と赤黄色土については、液性限界がN.P.となる土も存在することが考えられるのでフォールコン法により液性限界を求めた。

d. 団粒分析試験………次の2方法にて水中篩別で行った。まず、風乾供試土をそのまま団粒分析試験を行う法と風乾供試土を24時間毛管飽和させて行う法である。

e. 透水試験………100ml採土円筒を使用する簡易型変水位透水性測定器にて行った。

選択した土壌因子

土の侵食性の判定指標は過去多くの研究者によって提案されてきている。土の侵食性を規定する因子としては、外的要因(降雨強度, 斜面勾配, 下層土の透水性など)と内的要因(土固有の性質)を考える必要があるが、今回の実験条件として各試料土に対し降雨強度, 斜面勾配一定, 透水性に関しては一応水締め密度状態での各試料土の透水係数にて行った。故に外的要因については考えないこととした。また土固有の性質の内、土の侵食性に関係深いと考えられる因子として第1表に示す土壌因子を取り上げた。主な因子の算定方法を次に示す。

a. 粘土比………

$$\frac{\text{粘土分} (< 5\mu\text{m})}{\text{シルト分} + \text{砂分}}$$

b. 集合体の安定度(24時間毛管飽和における)………

$$\frac{(\text{団粒量} + \text{砂量}) - \text{砂量}}{\text{試料土の乾土重} - \text{砂量}} \times 100 (\%)$$

c. 分散率………

$$\frac{\text{水分散における} 20\mu\text{m以下の粒子含量} (100 - h_c)}{\text{試料土の乾土重}} \div \frac{\text{完全分散における} 20\mu\text{m以下の粒径分}}{\times 100 (\%)}$$

d. 侵食率………

$$\frac{\text{分散率}}{\text{コロイド含量} (< 2\mu\text{m})} \div \text{pF3.0の含水比}$$

e. 風乾率………

$$\frac{\text{風乾土による耐水性集合体の含量}}{\text{毛管飽水による耐水性集合体の含量}} \times 100 (\%)$$

f. 団粒係数(24時間毛管飽和における)………

$$\frac{1 \times 10^6}{\sum \frac{\text{各階級の団粒百分率} (\%)}{\text{各階級の団粒平均直径} (\text{cm})}}$$

試料土

試料土は九州地方内の阿蘇, 雲仙, 由布, 霧島火山に由来する有機質火山灰土である黒ボク18試料土, 北部九州の白亜紀型花崗岩類に属すると考えられる福岡, 佐賀, 熊本のマサ土15試料土, そして頁岩・結晶片岩・安山岩・玄武岩等各種の岩石に由来する赤色土15試料土と黄色土8試料土を選んだ。いずれも試料土は未耕地から採土した。マサ土は赤黄色土の一種と考えられるが, 花崗岩風化土として一種類の岩種から構成されているし, 全国各地に広く分布し, 一グループの特殊土と考えた。

主成分分析による土の分類

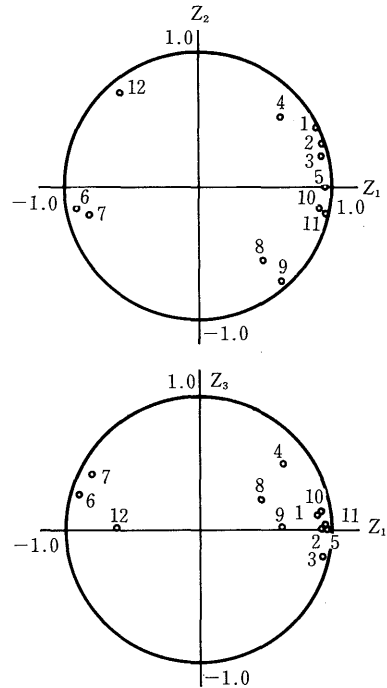
各試料土に対して第1表に示す土の侵食性に関連があると考えられる土壌因子12変数(x₁~x₁₂)を選び, これらの変数により56試料土を黒ボク, マサ土, 赤色土および黄色土のグループに分けることが可能かどうか, またグループ分けできるとすればどのような変数が支配しているのかを求めるために主成分分析を用いる。この分析法は全説明変数(土壌因子)の変動を代表できる数個の変数を作り出す方法である。

第1, 第2主成分までで累積寄与率を計算すると84%であり, 第3主成分までだと89%となっている。主成分の数の決め方には決定的な方法はないが, 一つの目安として累積寄与率が80%以上大きくなること, そして固有値が1.0以上であることなどを考慮に入れると第2主成分までで十分である³⁾。

いま各変数の因子負荷量を第1図に示す。因子負荷量において, 二つの主成分だけでその変数もつ変動を提供している変数は半径1の円周に近い位置にプロットされる。第1主成分と第2主成分において変動を提供して

第1表 土壌因子

記号	変数
X ₁	< 5 μm
X ₂	< 20 μm
X ₃	< 200 μm
X ₄	粘土比 (< 5 μm)
X ₅	集合体の安定度 (> 53 μm)
X ₆	分散率
X ₇	侵食率
X ₈	風乾率
X ₉	有機物含有量
X ₁₀	液性限界
X ₁₁	pF3.0
X ₁₂	比重
X ₁₃	< 2 μm
X ₁₄	< 53 μm
X ₁₅	< 2000 μm
X ₁₆	粘土比 (< 2 μm)
X ₁₇	集合体の安定度 (> 200 μm)
X ₁₈	団粒係数
X ₁₉	強熱減量
X ₂₀	pH
X ₂₁	log (透水係数)



第1図 各変数の因子負荷量

いる変数は、粘土比、侵食率、風乾率の3変数を除く9変数である。また半径の0.8以上の変数を取り上げると、これら9変数の他に粘土比、侵食率の2変数が加わり、風乾率のみが入ってこない。第1主成分と第3主成分では、粘土比、風乾率、有機物含有量、比重の4変数を除く8変数が主たる変数として取り上げられる。また半径の0.8以上の変数を取り上げるとこれら8変数の他に粘土比のみが加わってくる。

以上より累積寄与率でも指摘したように第2主成分までで土を分類することが可能なように思われる。また第1主成分と第3主成分との関係において変動を提供しない変数が第1主成分と第2主成分との関係より増加したことは、それだけ特徴ある変数が選ばれていると考える。

次にこれら変数による土の分類を行う。各試料土の主成分スコアを第2図に示す。第1主成分軸(z₁)は粒径組成並びに集合体の安定度を表していると考えられ、砂質土系が負の方に位置している。第2主成分軸(z₂)の負は有機物含有量と風乾率の土の性質の指向を示しており、黒ボクがこの分類に属する。黒ボクでは、集合体の安定度も大きく、有機物含有量も大きい試料土が第1主成分

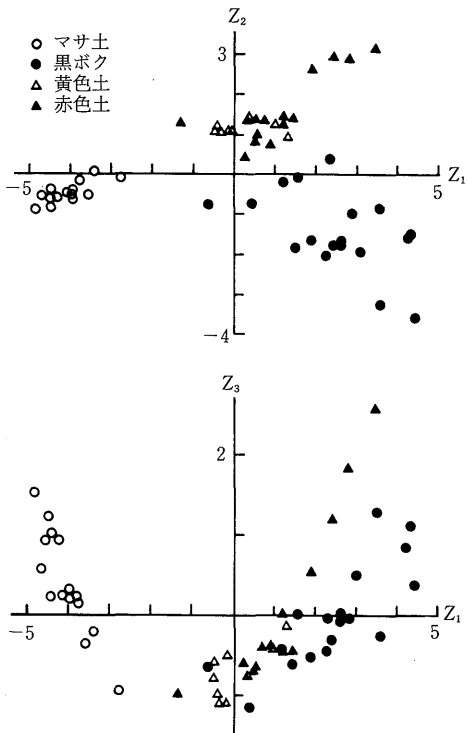
軸の正、第2主成分軸の負が強い指向がある。マサ土では、砂質系に近い土であると考えられるので、まず第1に粒径組成が取り上げられるが、第1図より分散率、侵食率などの指向がでている。マサ土自体では12変数からはほとんど違いがみられない。

赤色土と黄色土はその違いが土色だけで性質はよく似ていると言われていたし、また第2図よりほとんどこれら変数からも赤色土と黄色土は区別できないことから考えて、赤黄色土として考えていく。第2図より赤黄色土はマサ土の粒径組成に支配される性質と黒ボクの集合体の安定度に支配される性質とを兼ね備えていると考えられる。第2図から黒ボク、マサ土、赤黄色土はこれら12変数を使用してグループ分けが可能である。そして各グループ分けされた土はそれぞれ特徴ある性質を有しているので、これらの土の侵食性を一つの土壌因子にて判定を下すことは困難であると考えられる。

次に各土のグループごとに土の侵食性のための判定指標について考えることにする。

水食を規定する土壌因子

- a. 黒ボク………この土の特徴である有機物に富む土



第2図 各試料土の主成分スコア

であること、また団粒化が他の土に比べて卓越していることなど、そして第1, 2図より有機物含有量, 集合体の安定度に着目して黒ボクの水食量と土壌因子との関係からその侵食性の判定指標を検討する。従来, 黒ボクの粒度分析は難しく, そして完全分散としてカルゴン, ヘキサメタリン酸ソーダ等の分散剤を用いて粒度分析を行っていたが, 正確な粒径組成が求められていたとは言い難かった。そこで前述の粒度試験として①~④の方法を提案し, これを完全分散であると考えた。これまで提案されてきた侵食性の判定指標のための因子並びに団粒化が発達した黒ボクに適すると考える因子を選択し, それらの因子と黒ボクの水食量との比較を試み, 黒ボクの侵食性の判定指標として妥当な因子を提案しようとするものである。第2表に選択された変数を示すと共に, 各変数と水食量との単相関係数を示す。水食量は集合体の安定度と負の相関があり, 相関係数 -0.895 が得られ1%水準で有意である。また分散率との間にも相関係数が 0.882 となり1%水準で有意である。そして水食量の対数値は集合体の安定度と相関係数が -0.951 となり高位に有意である。その他の因子では侵食率, pH3.0がこれら両因子に統

第2表 選択された変数

記号	水食量との r
X_1	-0.397
X_2	-0.512
X_3	-0.441
X_4	0.482
X_5	-0.895
X_6	0.882
X_7	0.781
X_8	-0.111
X_9	-0.386
X_{11}	-0.679
X_{13}	-0.314
X_{14}	-0.548
X_{20}	0.265

いて有意である。黒ボクの侵食は他の土と比べ特に粒子が団粒として流亡はするものの, その水食量が団粒化の発達程度の違いによって支配されていると考える。黒ボクの侵食性の判定指標として集合体の安定度あるいは分散率を用いることができると考える。

b. マサ土……………この土の侵食性を規定する因子としては, この土に属する大部分の土が砂質系と考えられるので, 粒径に関する因子がまず第一に取り上げられる。その他にマサ土の性質を示す一指標として強熱減量がある。北部九州のマサ土の強熱減量は $2.1\sim 5.3\%$ の範囲にある。マサ土の侵食性判定指標を求めするために選択された変数を第3表に示す。粒径組成が水食量と明らかに有意である。粒径組成 $<5, <20, <200$ と $<53\mu\text{m}$ がこの順に増加する相関係数をもち1%水準で有意である。このことはシルトと細砂の含量がマサ土の侵食性に関係することを示している。ここで, 水食量に大いに有意である粒径組成についてより詳細にみている。第4表に水食量と粒径組成との単相関係数を示す。2から $200\mu\text{m}$ までの間の各粒径区分において相関係数は5%水準以上で有意であり, 正の相関がある。また $2\sim 20\mu\text{m}$ 粒径組成が最も有意であり, 続いて $2\sim 53\mu\text{m}$ 粒径組成であった。 $53\sim 2000$ と $200\sim 2000\mu\text{m}$ 粒径組成はまたそれぞれ5%水準と1%水準で有意であるが負の相関であった。また $2\sim 2000, 5\sim 2000, 20\sim 2000\mu\text{m}$ 粒径組成は有意でなかった。以上の結果は $2\sim 200\mu\text{m}$ 粒径(シルト+細砂), 特に $2\sim 20\mu\text{m}$ 粒径(シルト)の含量が水食量と近似的に相関があることを示している。そしてシルトと細砂はマサ土の水食量を増加させるが, 粗砂はそれを減少させることが分かっ

第3表 選択された変数

記号	水食量との r
X ₁	0.672
X ₂	0.838
X ₃	0.850
X ₄	-0.604
X ₅	-0.266
X ₆	-0.307
X ₁₀	0.548
X ₁₁	0.761
X ₁₃	0.393
X ₁₄	0.857
X ₁₅	0.316
X ₁₆	-0.274
X ₁₇	-0.147
X ₁₈	-0.705
X ₁₉	0.716

た。一方第4表より集合体の安定度、分散率は負の相関であるが有意ではなかった。このことはマサ土の集合体の安定度が低団粒性であり、そして低安定性であることに起因している。しかし団粒係数は水食量と相関係数が-0.705となり1%水準で有意となった。これは団粒係数値が団粒分析の結果から求められたものであり、一種の粒径組成からの算定によるものと考えられるからである。

マサ土の水食量は、黒ボクでは有意であった集合体の安定度、あるいは分散率よりむしろ粒径組成に相関があることが明らかとなった。特に2~20 μ mとは1%水準で有意であり、相関係数が0.884である。マサ土の侵食性の判定指標には2~20 μ m粒径組成が使用できると考える。

c. 赤黄色土……この土は近畿、中国地方から北部九州あるいは佐賀県、長崎県の低い丘陵や台地に分布している。赤色土は水はけの良いところに分布する傾向があり、そして鉄の含量が多い母岩からできやすい。また

黄色土は排水の比較的悪いところに分布し、そして鉄の含量が少ない母岩からできやすい。赤色土と黄色土は近接して分布しており、土色以外の性質はよく似ている¹⁾。

赤黄色土は、土の分類の項で述べたようにマサ土と黒ボクの両方の性質を兼ね備えていると考えられるので、土の侵食性を総合的に考えねばならない。赤黄色土の水食量と選択された変数との相関係数を第5表に示す。黒ボク、マサ土で有意とされた土壌因子はほとんど有意とは認められなかった。ただ23試料土のうち、一試料のみを除くと選択された各変数の単相関係数が大幅に向上してくる。特に集合体の安定度は相関係数-0.819となり高位に有意となる。この一試料土は赤色土に属し、粘土鉱物のスメクタイトを多量に含んでおり、水を含むと膨張性に富み、水食量も大である土である。この特殊な一試料土を含んでの最も有意な変数は透水係数であった。すなわち、透水係数が低下すると水食量は増大すると考える。この透水係数の対数値と水食量との相関係数は-0.922であり、赤黄色土の侵食性の判定指標としては十分である。多量のスメクタイトを含まない赤黄色土の侵食性

第5表 選択された変数

記号	水食量との r	
	A	B
X ₁	-0.469	-0.499
X ₃	-0.107	-0.066
X ₄	-0.041	-0.488
X ₅	-0.616	-0.819
X ₆	0.582	0.724
X ₇	0.494	0.578
X ₁₀	-0.127	-0.536
X ₁₁	-0.153	-0.464
X ₁₃	-0.525	-0.602
X ₁₈	-0.384	-0.703
X ₂₁	-0.922	-0.921

第4表 侵食量と粒径組成との相関係数

粒径, μ m	粒径, μ m	粒径, μ m	粒径, μ m	粒径, μ m	粒径, μ m
2-5	0.795**				
2-20	0.884**	5-20	0.841**		
2-53	0.867**	5-53	0.815**	20-53	0.694**
2-200	0.809**	5-200	0.767**	20-200	0.620*
2-2000	0.125	5-2000	-0.100	20-2000	-0.469
				53-200	0.523*
				53-2000	-0.615*
				200-2000	-0.818**

* 5%水準, ** 1%水準で有意

の判定指標としては、集合体の安定度も使用できるものと考えられる。

総 括

九州地方に存在する黒ボク、マサ土と赤黄色土の56試料土について、それらの土の性質と侵食性について検討を加えた。その結果、12変数を用いてこれらの試料土をグループ分けすることができる。そしてそれぞれのグループで土の性質に特徴があり、特定の土壌因子で表現することができる。土の侵食性判定指標としては、黒ボクでは集合体の安定度と分散率であり、マサ土では2～20、

20～53、 $<53\mu\text{m}$ 粒径組成であり、赤黄色土では透水係数であることを明らかにした。

引用文献

- 1) 土壌調査研究会編：九州の土壌。土壌調査研究会，福岡（1982） p.82
- 2) 藤川武信・内田勝利：土性と飛散侵食について。農土論集，90 1—8（1980）
- 3) 田中豊・垂水共之・脇本利昌：パソコン統計解析ハンドブックII。共立出版，東京（1984） p.163