静岡県中伊豆町における土地利用変化と斜面傾斜を 考慮した土壤酸性推定図の作成

岩崎亘典・吉田正夫・渡邊眞紀子

Soil Acidity Evaluation Map of Nakaizu-town Based on Landuse Change and Slope Gradient

Nobusuke IWASAKI, Masao YOSHIDA and Makiko WATANABE

Abstract: Grassland, which is maintained by human activities, grazing or burning, occupied more than 12% of the land of Japan in 1850's. However, most of the grassland area shifted to coniferous plantation forest or secondary broad-leaved forest. The purpose of this study is to evaluate the magnitude and spatial variation of soil acidity change due to the land use change. Soil chemical analysis found that pedons with forest use history or gentle slope have higher soil acidity and higher carbon content. The criterion of soil acidity was determined by using attributes of land use and slope gradient. From the soil acidity evaluation map, the relatively high soil acidity areas, Class 4 and Class 3, were estimated, to account for 9.6% and 17.3% of Nakaizu-town, respectively.

Keyword: 火山灰土 (Volcanic Ash Soil), 土地利用変化 (Landuse Change), 斜面傾斜 (Slope Gradient), 土壤酸性 (Soil Acidity).

1. 始めに

日本における伝統的土地利用形態の一つに草地利用がある。これらの草地は、最終間氷期の乾燥・冷涼な気候条件や後期更新世の活発な火山活動の影響により成立し、完新世以降は火入れや放牧などの人為干渉により維持されてきたと考えられる。中・近世以降、これらの草地は農村における肥料や生活資材の供給源としても利用され、その面積は1850年代には国土の11.8%を占めていた(有園, 1995)。しかし、第二次世界大戦後のスギやヒノキの植林地への転用や、燃料革命や化学肥料の普及に伴う利用価値の低下による管理放棄に伴う二次林の成立などにより、その面積は3.7%にまで減少している(氷見

見山, 1995)。このような草地から樹林地への土地利用変化に伴う土壤化学性の変化については多くの研究があり(Muys et al., 1992; Alfredsson et al., 1998; Lilienfein et al., 2000; 岩崎ほか, 2001)、土壤酸性化の進行が共通して報告されている。土壤の酸性、中性、アルカリ性で示される土壤反応は土壤の質や資源性を示す重要な指標であり、Schoenholtz et al. (2000) は、その総説のなかで、特に土壤pHが資源性の指標として有効であることを指摘している。また、田中(1984)は土壤酸性化の進行により様々な害が生じることを指摘している。

さて、火山灰を母材とし黒く厚い腐植層をもつ黒ボク土は、その生成とススキ等の草地利用が深い関わりを持つ。さらに、火山灰土は土壤酸性化の進行にともない Al^{3+} が流出する危険性が指摘されており(Dahlgern and Saigusa, 1994)、草地から樹林地への土地利用変化に伴う土壤酸性化の進行とその分布の把握が特に重要だと考えられる。土壤化学性の空

岩崎：〒305-8604 茨城県つくば市観音台 3-1-3

農業環境技術研究所 地球環境部

Department of Global Resources, National Institute for Agro-Environmental Sciences

Kannondai 3-1-3, Tsukuba-city, Ibaraki, Japan. 300-0393

Tel:0298-38-8226

E-mail:niwasaki@niaes.affrc.go.jp

間的分布を把握するための基礎資料としては土壤図があるが、主に現在の土地利用や地形条件を考慮して作成されたものであり、土地利用変化の影響を読みとることは困難である。

そこで本研究では、図1に示す静岡県中伊豆町を対象として、土壤化学性分析結果に基づき、土地利用変化に伴う土壤酸性化の進行を示す土壤酸性性推定図の作成を試みる。

2. 土地利用変化に伴う土壤酸性化の評価

2. 1 調査対象地域概要および土地利用変化

中伊豆町は北緯 $34^{\circ}51' \sim 35^{\circ}1'$ 、東経 $138^{\circ}57' \sim 139^{\circ}4'$ に位置する。町内の最低標高は約70m、最高標高は伊豆半島最高峰の天城山万三郎岳の1405mで、標高差が大きい。静岡県農地森林部農地企画課(1984)による地形分類では、町内は冷川山地、宇佐美山地、天城火山地に大分され、その狭間に大見川、冷川などの河川と谷底平野が広がる。また、カワゴ平火山から噴出したカワゴ平火砕流や、丸野山、遠笠山などの東伊豆単性火山群の火山体が認められ、活発な火山活動の影響下に於いて地形発達が進んだものと考えられる。一方で、中伊豆町周辺には嶋田(2000)が指摘したように、3,060～3,190yrs BPに噴出したカワゴ平降下軽石やカワゴ平火砕流堆積物が厚く堆積し、土壤母材の主体をなして

図1 調査対象地域

いると考えられるため、母材の違いによる土壤化学性への影響は小さいものと考えられる。

現地にて行った聞き取り調査によれば、中伊豆町では1950～60年代までは入会地としてススキを主体とした草地利用が行われていたことが確認できた。そこで、中伊豆町の土地利用変化を明らかにするために、伝統的な土地利用形態を反映した1900年代、土地利用変化が起きつつある1960年代、そして現在の3時期について土地利用図を作成した。以下に作成手順を示す。各土地利用図は1900年前後については、陸地測量部発行の熱海(1898)、玖須美(1898)、修善寺(1890)、1960年および2000年の土地利用図は熱海(1957および1997)、伊東(1960および1993)、修善寺(1958および1998)の1/5万地形図を基礎資料として用いた。これらの地形図上の土地利用区分を表1に示すように読み替え、各土地利用の境界線を半透明のトレーシングペーパーにトレースした。なお、ゴルフ場は一つの土地利用項目としてあつかった。この境界線をスキャナにてラスターデータとして読み込み、Microimage社製TNTmipsにてベクタデータに変換し、編集・属性を付与した。

作成した土地利用図を図2に、中伊豆町の土地利用の変化を図3に1900年代に草地利用が行われ

図2 中伊豆町土地利用変化図

ていた地域の1900年から2000年までの土地利用変化を図4に示す。中伊豆町の総面積は110km²であり、そのうち草地面積は、1900年には43.8%, 1960年には30.1%を占めていたが、2000年には1.6%にまで減少し、変わって針葉樹林地が53.2%, 広葉樹林地が30.5%を占めている。また、1900年当時に草地だった地域は、1960年代には65.6%が草地として残存しているが、2000年には2.2%にまで減少し、25.6%が広葉樹林地に、60.7%が針葉樹林地へと変化している。このことは、1960年代以降に、草地管理の停止や植林が急速に進んだことを示している。また、住宅地に変化した地域は1960年代にはほとん

ど認められなかったが、2000年には4.9%, ゴルフ場も4.3%認められた。

2. 2 土壌化学性分析方法および結果

土壌化学性分析のための土壌試料は、土地利用変化と地形条件に留意して図5に示す地点の土壌最表層（A1層）から採取した。すべての試料採取地点は1900年代には草地利用が行われていた地点から選定した。試料採取地点の土地利用履歴は、1900年代は前節で作成した土地利用図により決定し、1960年代および現在については、それぞれ国土地理院撮影の1/2万空中写真および現地調査により決定した。土壌採取地点の土地利用履歴および標高、傾斜を表2に示す。各試料の命名法は、頭文字のG, B, Cが現在の土地利用を表し、それぞれススキ草地、広葉樹林地、針葉樹林地を意味する。広葉樹林地と針葉樹林地については、10xが1960年代には樹林地に変化していた地点であり、00xが1960年代以降に樹林地に変化した地点である。

採取した試料は、炭素含量、C/N比および土壌酸性に関するpH(H₂O), pH(KCl), 交換酸度 y1について分析を行った。炭素含量およびC/N比は乾式燃焼法（島津製作所製, NC-80使用）により測定した。pH(H₂O)は土壌と水の比率を1:2.5とし、ガラス電極法（東亜工業製, MH-7E使用）により測定した。

表 1 土地利用分類対応表

Topography map categories		Land use map categories	
Dry paddy field	(乾田)	Paddy field	(田)
Paddy field	(水田・田)	Paddy field	(田)
Pound paddy field	(沼田)	Paddy field	(田)
Mulberry	(桑畑)	Dry field	(畑)
Tea plant	(茶畑)	Dry field	(畑)
Orchard	(果樹園)	Dry field	(畑)
Grassland	(草地)	Grassland	(草地)
Dry field, Pasture	(畑・牧草地)	Dry field	(畑)
Other tree crops	(その他樹木畑)	Dry field	(畑)
Broad-leaved forest	(広葉樹林)	Broad-leaved forest	(広葉樹林)
Coniferous foest	(針葉樹林)	Coniferous forest	(針葉樹林)
Bamboo	(竹林)	Broad-leaved forest	(広葉樹林)
Rough land	(荒地)	Grassland	(草地)

図 3 中伊豆町における土地利用変化

図 4 中伊豆町の草地の土地利用変化

図 5 土壌試料採取地点位置図

pH(KCl)と交換酸度y1は連続法（北海道立中央農業試験場・北海道農政部農業改良課，1992）により測定した。

各土壌試料の分析結果を表3に，土地利用履歴毎の平均値，標準偏差，標準誤差を表4に示す。土壌酸性についてみると，ススキ草地の平均値はpH(H₂O)で5.66，pH(KCl)で4.38，交換酸度y1で4.8と，最も土壌酸性が弱かった。樹林地についてみると，B10xのpH(H₂O)で5.11と土壌酸性が弱い傾向が見られたが，他の土地利用履歴を持つ地点は，いずれも強い土壌酸性を示した。また，Gerrard (1992) は，土壌化学性と斜面傾斜に相関があることを報告しているが，本研究でも同様の傾向が見られた。図6に斜面傾斜と土壌化学性の相関図を，表5(a)に斜面傾斜と土壌化学性の相関係数およびp値を示す。斜面傾斜と全炭素含量およびpH(H₂O)の間にはp<0.01以下で，C/N比およびpH(KCl)の間にはp<0.05で有意な相関があり，傾斜が強くなるに従い，炭素含量が低下し，土壌酸性が弱くなる傾向が見られた。また，表5(b)，(c)に斜面傾斜が20°以下の地点と，20°より大きい地点のそれぞれの相関係数およびp値を示した。20°より大きい場合は全炭素，pH(H₂O)，pH(KCl)で有意な相関が見られたが，20°以下の地点から採取した試料については，pH(KCl)と斜面傾斜の関係を除いて，有意な関係は認められなかった。すなわち，斜面傾斜と土壌化学性の関係は，特に急傾斜の地点で有意であるといえる。

そこで，斜面傾斜との関係が見られない20°以下の地点から採取した試料について，土地利用履歴毎の平均値，標準偏差，標準誤差を表6に示す。全サンプルを対象とした場合と同様に，草地が残存しているG00xで樹林地として利用されている地点に比べ土壌酸性が弱かった。広葉樹林地では，利用履歴の短いB00xの平均値がpH(H₂O)で4.50，pH(KCl)で4.18，交換酸度y1で10.4と，利用履歴長いB10xよりも土壌酸性が強く，pH(H₂O)で顕著な差が見られた。針葉樹林地では利用履歴の長いC10xで土壌酸性が強い傾向が見られ，特に交換酸度y1ではC10xの平均値が21.9，C00xの平均値が14.4と違いが大きかった。堤 (1987) は，天然林では極相林に近づくにつ

表2 土壌試料採取地点概要

Site	Land use			Altitude (m)	Slope (degree)
	1900	1960	2000		
G001	Grassland	Grassland	Grassland	480	11
G002				750	8
B001				350	42
B002				310	40
B003				330	33
B004			Broad-leaved	360	15
B005	Grassland	Grassland	forest	340	21
B006				320	16
B007				585	10
B008				595	4
B009				680	26
B101				290	9
B102				340	12
B103	Grassland	Broad-leaved	Broad-leaved	300	29
B104		forest	forest	300	34
B105				260	37
B106				410	31
C001				395	17
C002	Grassland	Grassland	Coniferous	610	30
C003			forest	640	18
C004				660	20
C101				430	6
C102				425	24
C103				355	11
C104	Grassland	Coniferous	Coniferous	365	12
C105		forest	forest	385	20
C106				375	27
C107				750	10

表3 土壌理化学性分析結果

Site	Total Carbon Content (g/kg)	C/N	pH		Exchangable Acidity (v1) (ml)
			(H ₂ O)	(KCl)	
G001	160	15.9	5.56	4.42	2.3
G002	129	14.3	5.75	4.33	7.2
B001	64	12.9	5.55	4.83	1.1
B002	94	14.0	5.42	4.67	1.9
B003	101	13.9	5.23	4.55	3.1
B004	166	15.4	4.75	4.28	7.4
B005	116	14.5	4.49	4.30	7.1
B006	175	15.5	4.56	4.19	11.1
B007	189	13.9	4.32	4.13	11.7
B008	180	14.0	4.37	4.13	11.2
B009	168	13.0	4.78	4.18	4.7
B101	159	16.4	4.80	4.28	6.8
B102	217	15.0	4.85	4.18	9.4
B103	108	13.6	5.16	4.29	5.2
B104	155	13.9	5.22	4.39	4.3
B105	87	13.2	5.42	4.52	2.1
B106	105	16.3	5.21	3.98	13.3
C001	172	16.2	4.57	4.10	12.1
C002	152	15.0	4.83	4.30	6.4
C003	205	15.7	4.73	3.80	15.8
C004	207	15.0	4.38	3.85	15.3
C101	196	15.8	4.35	4.12	12.7
C102	135	15.6	4.54	4.30	7.3
C103	109	15.0	4.79	3.85	13.8
C104	63	12.7	4.84	3.81	21.9
C105	121	14.9	4.26	3.49	43.5
C106	110	15.2	4.98	3.82	17.2
C107	164	15.3	4.37	4.09	17.5

表4 土地利用履歴毎の土壌理化学性

Landuse Change	n	Total Carbon Content		C/N				
		(g/kg)						
		Average	SD	SE	Average	SD	SE	
G00x	2	144	22	16	9.5	0.7	0.8	
B00x	9	139	46	15	9.8	3.1	0.3	
B10x	6	139	48	20	9.4	3.1	0.6	
C00x	4	184	27	13	11.9	1.8	0.3	
C10x	7	128	43	16	8.5	2.4	0.4	

Landuse Change	n	pH(H ₂ O)			pH(KCl)			Exchangable		
		Average	SD	SE	Average	SD	SE	Average	SD	SE
G00x	2	5.66	0.13	0.10	4.38	0.06	0.05	4.8	3.5	2.5
B00x	9	4.83	0.46	0.15	4.36	0.26	0.09	6.6	4.1	1.4
B10x	6	5.11	0.24	0.10	4.27	0.18	0.08	6.9	4.0	1.6
C00x	4	4.63	0.20	0.10	4.01	0.23	0.12	12.4	4.3	2.2
C10x	7	4.59	0.28	0.11	3.93	0.27	0.10	19.1	11.7	4.4

れて、土壌と森林との栄養塩の再循環は定常状態に近づくが、スギやヒノキなどの人工林では定常状態になる前に伐採により幹材に蓄積された栄養塩類が森林生態系外に持ち出されるため、土壌の養分収支は常に負の状態にあるとしている。そのため、広葉樹林地では草地からの植生遷移の初期に樹木の成長が活発で栄養塩の吸収が進むため、土壌の活酸性を表す $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ で示される土壌酸性が強いが、利用履歴が長くなるに従い物質循環が定常状態に近づくため土壌酸性が弱くなったと考えられる。一方で針葉樹林地では、利用履歴が長くなるほど栄養塩類の収奪が進むため、特に酸の容量因子である交換酸度 yl で示される土壌酸性が強くなったと考えられる。

3. 土壌酸性推定図の作成手法の検討

3. 1 土壌酸性推定基準の検討

前項の分析結果に基づき、土壌酸性化進行の推定基準を表7に示した。今回の調査において試料を採取したのはすべて1900年には草地利用が行われていた地点であるので、評価対象も1900年時点で草地利用が行われていた地域とし、1960年および現在の土地利用に基づき評価することとした。また、斜面傾斜の区分については、大矢（1983）に基づき 20° 以下の緩斜面、 $20\sim35^\circ$ の急斜面、 35° 以上の極急斜面とした。土壌酸性は土壌溶液の pH を示す $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ に注目して推定を行うこととし、最も強いものをClass4とし、以下Class3、Class2、Class1と相対的に土壌酸性が弱いものとした。

20° 以下の緩斜面については、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の平均値が最も低い値を示したB00x (4.50) とC10x (4.52) に相当する1960年以降に広葉樹林地が成立した地域と、1960年以前に針葉樹林地が成立していた地域をClass4とした。ついで、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の平均値が4.56を示したC00xに相当する1960年以降に針葉樹林地が成立した地域をClass3、4.83を示したB10xに相当する1960年以前に広葉樹林地が成立していた地域をClass2、5.66と最も土壌酸性が弱かったG00xに相当するススキ草地が残存する地域をClass1とした。また、斜面傾斜と土壌酸性に相関が見られることから、 $20\sim35^\circ$ の急傾斜の地域は、同様の土地利用履歴

図6 土壌化学性と斜面傾斜の関係

表5 土壌化学性と斜面傾斜の相関係数

(a) 全サンプル			(b) $20^\circ \geq$			(c) $20^\circ <$		
All Sample (n=28)	r	p	Under 20 (n=16)	r	p	Over 20 (n=12)	r	p
Total Carbon Content	-0.56	0.002	Total Carbon Content	0.06	0.816	Total Carbon Content	-0.58	0.047
C/N	-0.39	0.043	C/N	0.22	0.416	C/N	-0.45	0.147
$\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$	0.50	0.006	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$	-0.20	0.448	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$	0.94	0.000
$\text{pH}(\text{KCl})$	0.47	0.012	$\text{pH}(\text{KCl})$	-0.54	0.031	$\text{pH}(\text{KCl})$	0.70	0.011
yl	-0.34	0.074	yl	0.07	0.462	yl	-0.55	0.067

表6 土地利用毎の土壌化学性 (20° 以下)

Landuse Change	n	Total Carbon Content (g/Kg)			C/N		
		Average	SD	SE	Average	SD	SE
G00x	2	144	22	16	15.1	1.2	0.8
B00x	4	177	10	5	14.7	0.9	0.4
B10x	2	188	41	29	15.7	1.0	0.7
C00x	3	195	20	12	15.7	0.6	0.4
C10x	5	131	51	23	14.7	1.2	0.5

Landuse Change	n	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$			$\text{pH}(\text{KCl})$			Exchangeable		
		Average	SD	SE	Average	SD	SE	Average	SD	SE
G00x	2	5.66	0.13	0.10	4.38	0.06	0.05	4.8	3.5	2.5
B00x	4	4.50	0.20	0.10	4.18	0.07	0.04	10.4	2.0	1.0
B10x	2	4.83	0.04	0.03	4.23	0.07	0.05	8.1	1.8	1.3
C00x	3	4.56	0.18	0.10	3.92	0.16	0.09	14.4	2.0	1.2
C10x	5	4.52	0.27	0.12	3.87	0.25	0.11	21.9	12.6	5.6

表7 土壌酸性推定基準

1900	Landuse		Slope gradient (degree)		
	1960	2000	$20 \geq$	$20\sim35$	$35 <$
Grass	Grass	Grass	Class1	Class1	Class1
Grass	Grass	Broad	Class4	Class3	Class1
Grass	Broad	Broad	Class2	Class1	Class1
Grass	Conifer	Broad	Class4	Class3	Class1
Grass	Grass	Conifer	Class3	Class2	Class1
Grass	Broad	Conifer	Class4	Class3	Class1
Grass	Conifer	Conifer	Class4	Class3	Class1

Grass: Grassland, Broad: Broad-leaved forest, Conifer: Coniferous forest

を持つ緩傾斜の地域よりも一つ下のClassを持つと推定したが、ススキ草地では緩傾斜の地域と同様にClass1とした。傾斜角度35°以上の極急傾斜の地域については、斜面傾斜が35°以上のB001, B002, B105のpH(H₂O)がそれぞれ5.55, 5.42, 5.42と高い値を示したため、土地利用履歴よりも斜面傾斜の影響が大きいと考え、全ての土地利用履歴でClass1とした。また、1900年・1960年・現在の土地利用がそれぞれ、草地・広葉樹林地・草地、草地・針葉樹林地・草地となった地域は、継続して草地が存在しているものと考え、草地・針葉樹・広葉樹、草地・広葉樹・針葉樹となったものは1960年以前に針葉樹林地が成立した地域と同等の土壤酸性を持つものと考えた。

これらの基準に基づき、試料を分類した場合のpH(H₂O), pH(KCl), 交換酸度 y1の平均値および標準偏差、標準誤差を表8に示した。pH(H₂O)に注目して推定を行ったため、pH(KCl)と交換酸度 y1ではClass2とClass3の間で逆転が見られた。しかし、各ClassのpH(H₂O), pH(KCl), 交換酸度 y1の平均値についてKruskal-Wallis検定にて差を検定すると、それぞれ $\chi^2=18.1$ (p=0.004), $\chi^2=10.3$ (p=0.017), $\chi^2=11.9$ (p=0.007) と、pH(KCl)については有意水準5%未満で、pH(H₂O)と交換酸度y1については有意水準1%未満で差があるといえた。

3. 2 土地利用条件図および傾斜条件図の作成および検証

上記の推定基準に基づく土壤酸性推定図の作成手順を述べる。以下の作業については、土地利用図の作成と同様にMicroimage社製のTNTmipsを用いて行った。土地利用条件図は、2. 1で作成した土地

利用図を5mメッシュのラスタ・データに変換後にオーバーレイを行い作成した。傾斜条件図は、2000年の土地利用図を作成するのに用いた1/5万地形図から等高線を抽出し、5mメッシュDEMを作成し、傾斜を算出したのち、評価基準に基づき、35°以上、35°から20°、20°以下に分級した。作成した傾斜条件図を図7に示す。中伊豆町全面積のうち、20°以下の緩斜面は57.0%, 20°から35°の急傾斜は33.9%, 35°以上の地域は9.1%であり、中伊豆町は大半が緩傾斜の地域であることがわかる。また、1900年には草地面積の58.5%が緩斜面の地域により占められていることから、中伊豆町における草地利用は地形的条件とも深く関わるものと考えられる。

これらの条件図の有効性を検証するために、現地調査および空中写真判読から得られた土地利用との適合性と現地調査により得た標高・斜面傾斜との誤差を表9に示す。標高についてはB003以外では10m以下の誤差であり、良好な結果が得られた。しかし、土地利用については、1960年と現在の適合率が39.3%であり、傾斜については絶対値の平均で7.8°の誤差が認められた。土地利用については、空中写真

図7 傾斜条件図

表8 各 Class の土壤化学性

Soil Acidity Class	n	Totac Carbon Content C/N					
		pH(H ₂ O)			pH(KCl)		
		Average	SD	SE	Average	SD	SE
Class1	8	113	33	12	14.3	1.2	0.4
Class2	4	183	33	16	15.5	0.7	0.3
Class3	7	144	39	15	14.8	1.1	0.4
Class4	9	152	44	15	14.7	1.0	0.3

Soil Acidity Class	n	pH(H ₂ O)			pH(KCl)			Exchangable Acidity (y1) (ml)		
		Average	SD	SE	Average	SD	SE	Average	SD	SE
Class1	8	5.41	0.21	0.07	4.43	0.26	0.09	4.7	4.0	1.4
Class2	4	4.80	0.05	0.03	4.14	0.23	0.12	9.6	4.3	2.2
Class3	7	4.71	0.30	0.11	4.16	0.26	0.10	9.5	5.4	2.0
Class4	9	4.51	0.23	0.08	4.01	0.25	0.08	16.8	10.8	3.6

や現地調査では判別可能なパッチ状に存在する草地や二次林，地形に沿った植林などの把握が1/5万地形図上で困難なため，適合率が低くなったと考えられる．また，斜面傾斜については，小・微地形の影響を受ける現地調査での実測値と，5mメッシュのDEMからの計算値の違いが現れたものと考えられる．一方で，これらの誤差は条件図全体の誤差ではなく，調査地点についての誤差であり，条件図の精度検証については今後の課題であるといえる．以上の点について留意する必要があるものの，これらの図を用いることにより，1/5万スケールでの中伊豆町全体の傾向を把握することは可能であるので，土地利用条件図および傾斜条件図として使用することとした．そこで，これらの条件図を重ね合わせ，先に示した評価基準に基づき土壌酸性推定図とした．

表 9 条件図の検証

Site	Landuse match		Error in Altitude	Error in slope
	1960	2000	(m)	(degree)
G001	×	×	2.3	0.7
G002	○	×	-2.5	-8.1
B001	○	×	-3.8	15.3
B002	○	×	2.6	8.7
B003	○	×	-10.5	6.9
B004	○	×	-1.6	8.3
B005	○	×	-7.7	12.9
B006	○	×	-2.0	-12.1
B007	×	×	-0.5	1.1
B008	×	×	2.8	-5.4
B009	×	×	0.9	6.2
B101	○	×	-7.3	-16.4
B102	×	×	-2.6	10.2
B103	×	○	-7.3	3.1
B104	○	○	-4.7	18.8
B105	×	○	-5.5	13.1
B106	○	×	5.2	-4.3
C001	○	○	6.3	-7.3
C002	×	○	-1.1	2.8
C003	×	○	-6.1	-5.2
C004	×	○	-6.8	-3.2
C101	×	○	8.9	3.6
C102	×	○	2.8	15.1
C103	×	○	1.0	-2.7
C104	×	×	-1.4	-9.5
C105	×	×	2.0	-9.6
C106	○	×	8.5	5.3
C107	×	○	-6.5	-1.1

○:match ×:mismatch

3. 3 中伊豆町における土壌酸性化の進行とその分布

以上の手順に基づき作成した土壌酸性評価図を図8に，また，推定基準ごとの面積を表10に示す．Class1からClass4の面積はそれぞれ5.6，7.4，19.2，10.7km²で，中伊豆町の9.6%が相対的に最も土壌酸

性が強いClass4，17.3%が比較的土壌酸性化が進んでいるClass3だと推定された．最も土壌酸性が弱いと推定されたClass1のうち，草地が残存しているのは1.0km²で，残りの4.6km²は35°以上の極急傾斜の地域であった．また，1960年以降に急激に草地から広葉樹林地または針葉樹林地への土地利用変化が進んだことを反映して，Class3では，緩傾斜で1960年以降に針葉樹林地に変化した地域が55.5%，Class4では緩傾斜で1960年以降に広葉樹に変化した地域が41.3%と各Class内で最も広い面積を占めた．すなわち，中伊豆町においては，1960年代以降に急激に樹林地への利用変化が進んだことと，緩傾斜の地域が

図 8 中伊豆町土壌酸性推定図

表 10 各推定基準毎の面積(km²)

	Landuse		Slope gradient (degree)		
	1900	1960 2000	20≥	20-35	35<
Grass	Grass	Grass	0.9	0.1	0.0
Grass	Grass	Broad	4.4	3.3	0.9
Grass	Broad	Broad	1.2	0.9	0.3
Grass	Conifer	Broad	0.8	0.7	0.2
Grass	Grass	Conifer	10.7	6.2	1.3
Grass	Broad	Conifer	2.1	2.1	0.5
Grass	Conifer	Conifer	3.1	2.4	0.5

Grass: Grassland, Broad: Broad-leaved forest, Conifer: Coniferous forest

広いことを反映して、広範囲にわたって土壤酸性化が進んでいるものと推定された。

さらに、針葉樹林地としての利用履歴が長くなると土壤酸性が強くなることと、1960年以降に針葉樹に変化した地域が18.2km²と評価対象地域の42.4%を占めていることから、現在の土地利用が継続された場合、相対的に土壤酸性が強いClass3、Class4の面積がさらに増加すると推定される。

4. まとめ

本研究では静岡県中伊豆町を対象として、土地利用変化に伴う土壤酸性化の進行程度を評価しうる土壤酸性推定図の作成を試みた。土壤理化学分析の結果から、草地から樹林地への土地利用変化にともない土壤の酸性化が進行することと、その程度が樹林地としての利用履歴の長さや斜面傾斜により異なることが明らかとなった。上記の結果に基づき、土地利用履歴と斜面傾斜を条件として土壤酸性推定図を作成した。その結果、中伊豆町では1960年代以降に草地から樹林地への土地利用が急激に進んだことと、緩傾斜の地域が広く存在するために、相対的に土壤酸性が進んだClass3およびClass4がそれぞれ19.2、10.7km²と、それぞれ中伊豆町全体の17.3%と9.6%をしめることが明らかとなった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京工業大学大学院総合理工学研究科渡邊研究室および茨城大学農学部熱帯環境化学研究室内の学生諸氏に現地調査のご協力を頂いた。東京工業大学大学院リサーチアソシエイト（現 東京都環境科学研究所）森島済博士には、現地調査にご協力いただくとともに、論文を執筆するに当たり有益なご意見を頂いた。北海道教育大学教授 氷見山幸夫先生には調査地域の選定にあたって貴重なご助言を頂いた。農業環境技術研究所のDavid SPRAGUE博士には、論文をとりまとめるに当たり貴重なご助言を頂いた。以上の方々に深い感謝の意を表します。

また、本研究の一部は、国際地理学会2000年ソウル大会にて発表した。

参考文献

- 有菌正一郎（1995）近世末（1850年頃）の国土利用．氷見山幸夫ほか編『アトラス【日本列島の環境変化】』，朝倉書店，4-5．
- 岩崎巨典・渡邊眞紀子・吉田正夫（2001）黒ボク土の化学性に及ぼす土地利用および母材の影響．「ペドロジスト」，**45**，1-13．
- 大矢雅彦編（1983）『地形分類の手法と展開』，古今書院．
- 静岡県農地森林部農地企画課（1984）『土地分類基本調査 伊東・稲取 5万分の1』，静岡県農地森林部農地企画課．
- 嶋田 繁（2000）伊豆半島，天城カワゴ平火山の噴火と縄文後～晩期の古環境．「第四紀研究」，**39**，151-164．
- 田中 明（1984）序章．田中明編『酸性土壌とその農業利用』，博友社，7-20．
- 堤 利夫（1987）『森林の物質循環』，東大出版会．
- 氷見山幸夫（1995）現在（1985年頃）の国土利用．氷見山幸夫他編『アトラス【日本列島の環境変化】』，朝倉書店，10-11．
- 北海道立中央農業試験場・北海道農政部農業改良課（1992）『土壌および作物栄養の診断基準－分析法（改訂版）』，北海道立中央農業試験場・北海道農政部農業改良課，56．
- Alfredsson, T., Condron, H., Clarholm, L. M., and Davis, M. R. (1998) Changes in soil acidity and organic matter following the establishment of conifers on former grassland in New Zealand. *Forest ecology and management*, **112**, 245-252.
- Dahlgren, R. A. and Saigusa, M. (1994) Aluminum release rates from allophanic and nonallophanic Andosols. *Soil science and plant nutrition*, **40**, 125-136.
- Gerrard J.(1992) *Soil geomorphology*, London:Chapman & Hall.
- Lilienfein, J., Wilcke, W., Angelo, M., Ayarza, L. V., Lima, S. C. and Zech, W. (2000) Soil acidification in Pinus caribaea forests on Brazilian savanna Oxisols. *Forest ecology and management*, **128**, 145-157.
- Muys, B., Lust, N. and Granval, Ph. (1992) Effect of grassland afforestation with different tree species on earthworm communities, litter decomposition and nutrient status. *Soil biology and biochemistry*, **24**, 1459-1466.
- Schoenholtz, S.H., Miegroet, H. and Burger, J.A. (2000) A review of chemical and physical properties as indicator of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest ecology and management*, **138**, 336-356