

# 森林火災を受けた土壌の理化学性の主成分分析

関 勝寿\*

## Principal component analysis of the physical, chemical and microbiological properties of soils affected by forest fire in East Kalimantan, Indonesia

Katsutoshi SEKI \*

### Abstract

Soil physical, chemical and microbiological properties measured with tropical rain forest at Bukit Bangkirai, East Kalimantan, Indonesia, where severe forest fire occurred in 1998, were analyzed. According to principal component analysis, the 1st principal component is the factor describing the amount of soil organic matter; water content, pH, EC, water soluble organic matter, water soluble total nitrogen, total carbon, total nitrogen, ignition loss, and water repellency. The 2nd principal component is the factor describing the amount of iron and aluminum. The 1st and 2nd principal component described 73% of the variables. The microbial numbers, *Clostridium* and *Nitospira*, constitutes 3rd and 4th principal component, respectively.

**Keywords:** Forest fire, Indonesia

## 1. 序論

熱帯林には、地球上の全生物種のうち4分の3が生息し、その量は陸域全体の50%に達すると言われている。近年、世界の熱帯林が減少を続け、特にアフリカ、東南アジア、南アメリカで急速に熱帯雨林が減少している(FAO, 2006)。熱帯林の面積が減少する原因は、その地域ごとに色々であり、人為的な原因としては、過度の焼畑農業、燃料としての木材過剰採取、不適切な商業伐採、農地や放牧地への転用、といったような原因がある。また、森林火災による被害も熱帯林減少の原因の1つとなっている。従来から、自然発火による

\* 東洋大学経営学部 〒 112-8606 東京都文京区白山 5-28-20  
Faculty of Business Administration, Toyo University, 5-28-20 Hakusan, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8606, Japan.

熱帯林の減少はあったものの、近年森林火災が増えている原因として、人為的な原因による発火が増えたこと、あるいは気候変動によるエルニーニョ現象のような異常気象の増加があげられる(Cochrane, 2003)。1997年から1998年にかけて、20世紀で最大級のエルニーニョ現象にともない、アジアと南米では20万km<sup>2</sup>に及ぶ面積の大規模森林火災が発生し、インドネシアでは、その面積は8万km<sup>2</sup>に達した(Ruitenbeek, 1999)。森林火災は生態系へ影響を与えるとともに、土壌の有機物(Knicker *et al.*, 2005)、pH(Ulery *et al.*, 1993; Fernandez *et al.*, 1997)、鉄(Ulery and Graham, 1993)、微生物(Dumontet *et al.*, 1996)、撥水性(DeBano, 2000)に影響を与える。

このような森林火災が生じた時に、生態系がどのように再生するか、という過程を調べるために、環境省の地球環境研究総合推進費によって、「森林-土壌相互作用系の回復と熱帯林生態系の再生に関する研究」(研究代表者:鹿兒島大学、鈴木英治教授)が実施され、1998年2月から3月にかけて、インドネシアのボルネオ島で発生した大規模森林火災発生からの生態系の回復過程が分析された。そのプロジェクトの中で土壌環境と微生物群衆の回復が熱帯林再生に果たす役割の研究がされた成果を、既報(Seki *et al.*, 2010; Kajiura *et al.*, 2012; 関, 2012)では、Seki *et al.* (2010)において、主として森林火災からの回復過程における森林火災の被害を受けた土壌と受けていない土壌の物理化学特性の鉛直分布と降雨にともなう土壌水分量変化を調べた。Kajiura *et al.* (2012)は、森林火災によって促進されるとされる土壌の撥水性に着目し、土壌水分と土壌有機物、水溶性有機物の量が撥水性に影響を与えていることを示した。さらに、関(2012)は、土壌の物理性、化学性、微生物の測定結果をまとめ、森林火災との関係について考察した。本論文は、関(2012)の実験結果について、解析を進めたものである。

## 2. 方法

調査地は、ボルネオ島のプキット・バンキライ、東経160度55分、南緯1度に位置し、標高は約110mである。1998年の大規模森林火災の被害を大きく受けた重度被害林地(HD区)、被害の程度が小さかった軽度被害林地(LD区)、川をはさんで火災の直接的被害を受けなかった無被害林地(K区)に、1haずつの調査区が設けられている(Seki *et al.*, 2010; 関, 2012)。HD区の3地点、LD区の4地点、K区の4地点、合計11地点の試料について、それぞれA層とB層の試料、合計22の試料を測定に供した。測定項目と測定方法を表1に記す。測定法の詳細は関(2012)に報告済みである。

### 3. 結果

測定結果は関(2012)に報告済みである。関(2012)は、ECとpHの関係から、火災被害を受けた林では軽度被害林、無被害林と比べてpHがわずかに高いことと、火災の影響を受けた区で、遊離酸化鉄の活性度が高くなる傾向が見られることを示した。

表1 測定項目

測定項目	測定法
含水比	炉乾法
pH (H <sub>2</sub> O, KCl 抽出)	1:2.5 法
EC	1:5 法
水溶性有機炭素、水溶性全窒素	1:10 法
全炭素、全窒素	乾式燃焼法
強熱減量	強熱減量法
色相、明度、彩度	土色計
撥水性	MED
酸性シュウ酸塩可溶鉄(FeO)	酸性シュウ酸塩溶解法・原子吸光
ジチオナイト可溶鉄(Fed)	ジチオナイトークエン酸塩還元溶解法・原子吸光
酸化アルミニウム(AlO)	原子吸光
<i>Nitrospira</i> 数、 <i>Clostridium</i> 数、全菌数	FISH

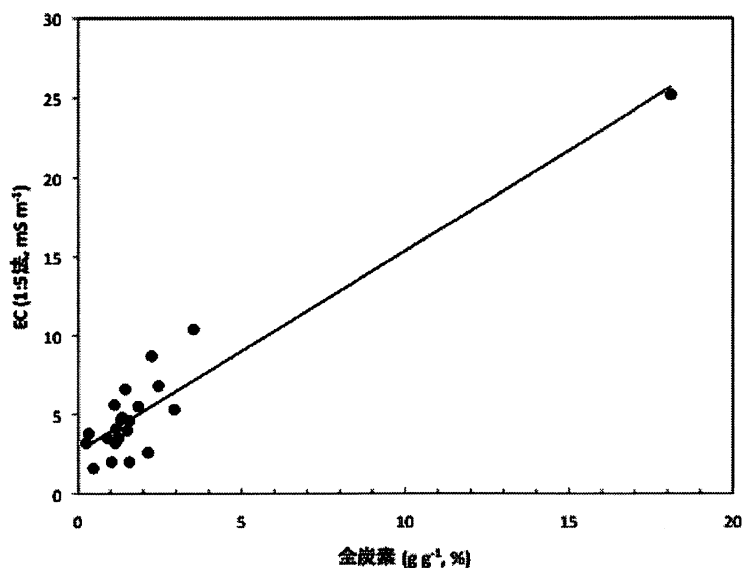


図1 全炭素と EC の関係 (R=0.94\*\*)

表 2 測定項目の相関係数 (下線は P<0.01)

	含水比	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	EC	NH <sub>3</sub> -N	WSOC	WSTN	全炭素	全窒素	強熱減量	撥水性	明度	彩度	Feo	Fed	Alb	Clo	Nit
含水比	<u>1.00</u>	-0.71	-0.39	<u>0.85</u>	<u>0.76</u>	<u>0.73</u>	<u>0.74</u>	<u>0.88</u>	<u>0.91</u>	<u>0.90</u>	0.54	-0.43	0.42	0.38	0.41	<u>0.65</u>	-0.52	0.28
pH (H <sub>2</sub> O)	-0.71	<u>1.00</u>	<u>0.77</u>	-0.85	-0.46	-0.78	-0.66	-0.72	-0.75	-0.74	-0.58	0.53	-0.15	0.01	-0.11	-0.16	0.37	-0.07
pH (KCl)	-0.39	<u>0.77</u>	<u>1.00</u>	-0.76	-0.21	-0.77	-0.37	-0.66	-0.64	-0.66	-0.72	<u>0.67</u>	0.34	0.46	0.31	0.27	0.14	0.06
EC	<u>0.85</u>	-0.85	-0.76	<u>1.00</u>	<u>0.62</u>	<u>0.90</u>	<u>0.69</u>	<u>0.94</u>	<u>0.93</u>	<u>0.94</u>	0.59	-0.56	0.01	-0.10	0.01	0.22	-0.29	0.13
アンモニア態窒素(NH <sub>3</sub> -N)	<u>0.76</u>	-0.46	-0.21	<u>0.62</u>	<u>1.00</u>	0.58	<u>0.87</u>	<u>0.66</u>	<u>0.76</u>	<u>0.69</u>	0.58	-0.28	0.46	0.23	0.28	0.51	-0.33	0.11
水溶性有機炭素(WSOC)	<u>0.75</u>	-0.78	-0.77	<u>0.90</u>	0.58	<u>1.00</u>	<u>0.59</u>	<u>0.93</u>	<u>0.87</u>	<u>0.92</u>	<u>0.77</u>	-0.55	-0.04	-0.20	-0.17	0.15	-0.35	0.08
水溶性全炭素(WSTN)	<u>0.74</u>	-0.66	-0.37	<u>0.69</u>	<u>0.87</u>	<u>0.59</u>	<u>1.00</u>	<u>0.61</u>	<u>0.74</u>	<u>0.64</u>	0.41	-0.25	0.42	0.15	0.32	0.42	-0.45	0.05
全炭素	<u>0.88</u>	-0.72	-0.66	<u>0.94</u>	<u>0.66</u>	<u>0.93</u>	<u>0.61</u>	<u>1.00</u>	<u>0.96</u>	<u>1.00</u>	<u>0.69</u>	-0.57	0.02	-0.04	-0.03	0.32	-0.34	0.21
全窒素	<u>0.91</u>	-0.75	-0.64	<u>0.93</u>	<u>0.76</u>	<u>0.87</u>	<u>0.74</u>	<u>0.96</u>	<u>1.00</u>	<u>0.97</u>	<u>0.66</u>	-0.61	0.10	0.04	0.10	0.40	-0.40	0.24
強熱減量	<u>0.90</u>	-0.74	-0.66	<u>0.94</u>	<u>0.69</u>	<u>0.92</u>	<u>0.64</u>	<u>1.00</u>	<u>0.97</u>	<u>1.00</u>	<u>0.70</u>	-0.58	0.06	0.00	0.02	0.35	-0.38	0.22
撥水性	0.54	-0.58	-0.72	<u>0.59</u>	0.58	<u>0.77</u>	0.41	<u>0.69</u>	<u>0.66</u>	<u>0.70</u>	<u>1.00</u>	-0.21	0.05	-0.24	-0.30	0.06	-0.40	0.22
明度	-0.43	0.53	<u>0.67</u>	-0.56	-0.28	-0.55	-0.25	-0.57	-0.67	-0.58	-0.21	<u>1.00</u>	0.19	0.11	0.10	-0.21	0.27	-0.29
彩度	0.42	-0.15	0.34	0.01	0.46	-0.04	0.42	0.02	0.10	0.06	0.05	0.19	<u>1.00</u>	<u>0.79</u>	<u>0.83</u>	<u>0.65</u>	-0.30	0.09
Feo	0.38	0.01	0.46	-0.10	0.23	-0.20	0.15	-0.04	0.04	0.00	-0.24	0.11	<u>0.79</u>	<u>1.00</u>	<u>0.88</u>	<u>0.81</u>	-0.38	0.19
Fed	0.41	-0.11	0.31	0.01	0.28	-0.17	0.32	-0.03	0.10	0.02	-0.30	0.10	<u>0.83</u>	<u>0.88</u>	<u>1.00</u>	<u>0.73</u>	-0.40	0.22
Alb	<u>0.65</u>	-0.16	0.27	0.22	0.51	0.15	0.42	0.32	0.40	0.35	0.06	-0.21	<u>0.65</u>	<u>0.81</u>	<u>0.73</u>	<u>1.00</u>	-0.54	0.38
Clostridium数/全菌数 (Clo)	-0.52	0.37	0.14	-0.29	-0.33	-0.35	-0.45	-0.34	-0.40	-0.38	-0.40	0.27	-0.30	-0.38	-0.40	-0.54	<u>1.00</u>	-0.02
Nitrospira数/全菌数 (Nit)	0.28	-0.07	0.06	0.13	0.11	0.08	0.05	0.21	0.24	0.22	0.22	-0.29	0.09	0.19	0.22	0.38	-0.02	<u>1.00</u>

全測定項目の相関係数を表2にまとめる。表2から、含水比、pH、EC、アンモニア態窒素、水溶性有機炭素、水溶性全窒素、全炭素、全窒素、強熱減量、撥水性が、それぞれに正または負の高い相関があることが分かる。有機物量に関係する測定量であるアンモニア態窒素、水溶性有機炭素、水溶性全窒素、全炭素、全窒素、強熱減量が互いに高い相関を持ち、有機物量が高い土壌においては陽イオンをよく保持することからECが高くなる、という相関があった(図1)。

以上の結果から、表1の測定項目について、大きく2つの相関性の高いグループが存在し、それぞれ有機物量、鉄の量が要因となっているものと推察された。そこで、このことを明確にするために、主成分分析をした(表3)。

表3 主成分分析の結果

主成分		1	2	3	4
寄与率		0.482	0.251	0.072	0.048
累積寄与率		0.482	0.733	0.804	0.853
主成分得点	含水比	0.909	0.355	0.018	-0.150
	pH (H <sub>2</sub> O)	-0.852	0.086	0.206	-0.052
	pH (KCl)	-0.703	0.564	0.115	-0.090
	EC	0.954	-0.151	-0.045	-0.180
	WSOC	0.915	-0.262	-0.065	-0.050
	WSTN	0.752	0.233	-0.336	-0.058
	全炭素	0.951	-0.099	0.089	-0.181
	全窒素	0.970	-0.002	0.067	-0.113
	強熱減量	0.962	-0.059	0.078	-0.160
	MED	0.426	-0.503	-0.056	0.374
	明度	-0.638	0.222	-0.410	-0.439
	彩度	0.146	0.855	-0.254	-0.099
	Feo	0.054	0.935	0.018	0.093
	Fed	0.125	0.920	-0.070	0.039
	Alo	0.397	0.822	0.215	0.117
	<i>Clostridium</i>	-0.476	-0.410	0.183	-0.554
<i>Nitrospira</i>	0.211	0.244	0.841	-0.093	

本調査区においては、有機物の少ない砂質土壌は、保水性が低いために含水比が小さい傾向があった。全炭素とECの間には高い相関( $R=0.94^{**}$ )があるが、無被害林において、ルートマットを含んでいた可能性がある全炭素が18%という非常に有機物量の多い試料があり、このデータを除くと $R=0.70^{**}$ と相関係数が小さくなった。それでも、 $P<0.01$ で有意に高い相関がある。そして、ECとpHの間には負の相関があり(関, 2012)、有機物の多い土壌で撥水性が高いため、含水比、pH、EC、アンモニア態窒素、水溶性有機炭素、水溶

性全窒素、全炭素、全窒素、強熱減量、撥水性の間の相関が高くなっている。

また、鉄とアルミニウムに関する酢酸シュウ酸塩可溶鉄、ジオチナイト可溶鉄、および酸化アルミニウム量、そして彩度の相関が高く、これら4つのパラメータ間には、すべて  $P < 0.01$  で有意に高い正の相関があった。鉄と彩度の相関が高いのは、酸化鉄の色によるものであろう。

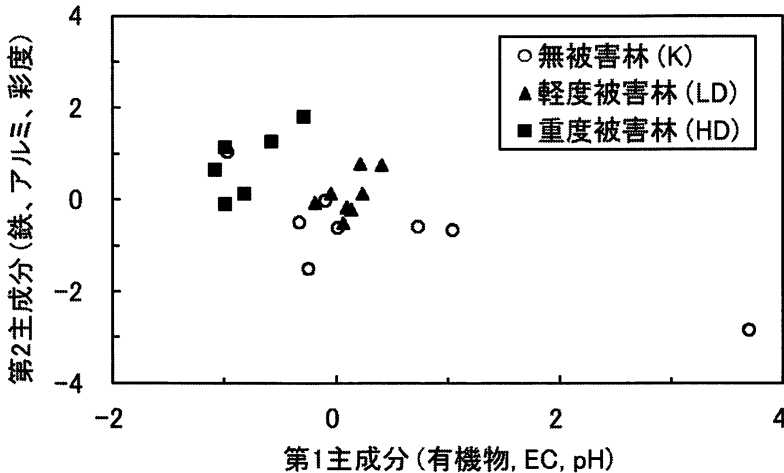


図2 第1主成分と第2主成分の関係

微生物相については、*Clostridium* 数/全菌数と、*Nitrospira* 数/全菌数の値について、物理化学性の測定値との間に高い相関が見られなかった。第3主成分までで、累積寄与率が80.4%とかなりの情報量を説明できることが分かった。主成分得点から、第1主成分は有機物量に関する測定量、第2主成分は鉄の量に関する測定量、第3主成分は *Nitrospira* 数を、第4主成分は *Clostridium* 数を代表する成分である。

図2に、第1主成分と第2主成分の関係を示す。無被害林は、有機物が多く鉄が少ない土壤中、重度被害林は有機物が少なく鉄が多い土壤が中心となっていることが分かる。また、軽度被害林はばらつきが小さいことが分かる。これらのばらつきは、火災の影響を示しているというよりは、火災影響を受ける前の土壤の性質のばらつきをあらわしていると見ることができる。

#### 4. 結論

多様な土壤環境を特徴づける4つの指標(主成分)が抽出された。第1主成分は有機物質(全炭素、全窒素、水溶性有機炭素、水溶性全窒素)が多く、撥水性が高く、ECが高く、pHが低い時に大きくなり、第2主成分は鉄とアルミニウムが多い時に大きくなる。微生物数に関する測定値は、*Nitrospira* 数と *Clostridium* 数がそれぞれ第3、第4主成分となった。

## 謝辞

本研究にご協力をいただいた農業環境技術研究所の常田岳志博士、東京大学大学院農学生命科学研究科の梶浦雅子、鈴木香織、児玉五月の各氏に感謝します。

## 参考文献

- Cochrane, M. A. (2003) Fire science for rainforests. *Nature* **421**: 913-919.
- DeBano, L. F. (2000) The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of hydrology* **231**:p. 195-206.
- Dumontet, S., H. Dinel, A. Scopa, A. Mazzatura and A. Saracino (1996) Post-fire soil microbial biomass and nutrient content of a pine forest soil from a dunal Mediterranean environment. *Soil biology & biochemistry* **28**:p. 1467-75.
- FAO (2006) Global Forest Resources Assessment 2005 – Progress towards sustainable forest management. FAO, Rome, Italy.
- Fernandez, I., A. Cabaneiro and T. Carballas. (1997) Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. *Soil biology & biochemistry* **29**:p. 1-11.
- Kajiura, M., T. Tokida and K. Seki. (2012) Effects of moisture conditions on potential soil water repellency in a tropical forest regenerated after fire. *Geoderma* **181-182**: 30-35.
- Knicker, H., F. J. Gonzalez-Vila, O. Polvillo, and G. Almendros. (2005) Fire-induced transformation of C- and N- forms in different organic soil fractions from a Dystric Cambisol under a Mediterranean pine forest (*Pinus pinaster*). *Soil biology & biochemistry* **37**:p. 701-18.
- Ruitenbeek, J. (1999) in Indonesia's Fire and Haze: the Cost of Catastrophe (eds Glover, D. & Jessup, T.) 88–112, International Development Research Centre, Ottawa.
- Seki, K., K. Suzuki, T. Nishimura, M. Mizoguchi, H. Imoto and T. Miyazaki. (2010) Physical and chemical properties of soils in the fire-affected forest of East Kalimantan, Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science* **22(4)**: 414-424.
- 関勝寿 (2012) インドネシアにおける森林火災を受けた土壌の理化学性について. 東洋大学紀要自然科学篇 **56**: 31-41.
- Ulery, A. L. and R. C. Graham. (1993) Forest fire effects on soil color and texture. *Soil Science Society of America journal* **57**:p. 135-40.
- Ulery, A. L., R. C. Graham and C. Amrhein (1993) Wood-ash composition and soil pH following intense burning. *Soil science* **156**:p. 358-64.