

4 節 三瓶埋没林共同調査

(1) 三瓶埋没林の被熱調査結果

～三瓶小豆原埋没林は火砕流の影響を受けているか？～

沢田順弘・三瓶良和・樫根知夏子

(島根大学総合理工学部地球資源環境学教室)

1. はじめに

三瓶山北方の小豆原で発見された埋没林は樹皮と幹の縁が黒色化しており、それが火砕流による炭化なのか、水中に置かれた為に黒色化したのかについて論議がある。ここでは木片のH/C比を用いて、埋没林およびその周囲の転木と、砂層や火砕流中から採取した木片について、その木片の温度の見積もりと炭化の可能性について検討する。

2. 炭化木片のH/C比温度計

(1) 実験による炭化木片の作成

Sawada et al.(in press)は炭化木片のH/C比は形成時の温度と保温(冷却)時間に依存することに着目し、火砕流堆積物中にしばしば含まれる炭化木片のH/C比から火砕流堆積物の定置温度を見積もる方法を提案した。まずその温度計について概説する。

炭化木片のH/C比の温度と加熱時間に対する依存性を数式化するために、電気炉中で、温度を設定し、実験的に炭化木片を作成した。使用した材は日本で普遍的に産する松、杉、桐とインドネシア産のラミン材である。

実験方法は次の二つのグループに分けられる(図4.4.1-1)。グループ1は電気炉中で加熱したデイサイト混じり火山灰中にアルミホイルで包んだ木片試料を投入した後、炉のドアを閉め、電源を切り、炉内が130℃以下になるまで放置冷却する。放置時間は7-14時間。実験における加熱温度のステップは25℃ずつ、238℃から714℃まで初期温度を設定。

グループ2は設定した一定の温度に試料を保ち、1, 3, 5日後に試料を取り出す。

(2) 実験結果

実験でつくられた炭化木片の炭素と水素の含有量は、島根大学汽水域研究センター設置のFISONS(Carlo Erba)社製1108元素分析器によって分析された。分析誤差は3%以内である。

- ①110℃で乾燥した切り枝のH/C比は、1.34-1.59と変化が大きい。
- ②238℃以上では実験試料(松、杉、桐、ラミン材)の違いによるH/C比の差はなく、温度依存性が明瞭である(図4.4.1-2)。
- ③温度とH/C比の相互関係は、238-307℃と307-714℃で異なり、これは化学反応の違いによるものと判断される(図4.4.1-3)。
- ④グループ1の307℃以上の実験で得た52個の試料のH/C比は、温度と良い相関関係を示し、 $\log T = 2.05 - 0.530 \times \log(H/C)$ という式を得た。ここでTは温度(℃)、H/Cは原子比である。相関係数は0.978。熱電対で測った温度とH/C比温度計で見積もられた温度との標準偏差は21℃である(図4.4.1-4)。
- ⑤グループ2の実験から得られたH/C比-温度の関係は以下の通りである(図4.4.1-5)。

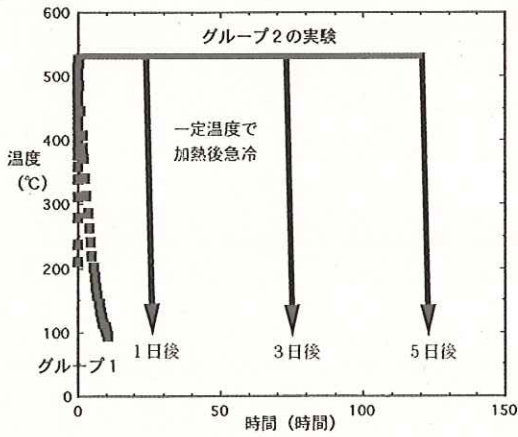
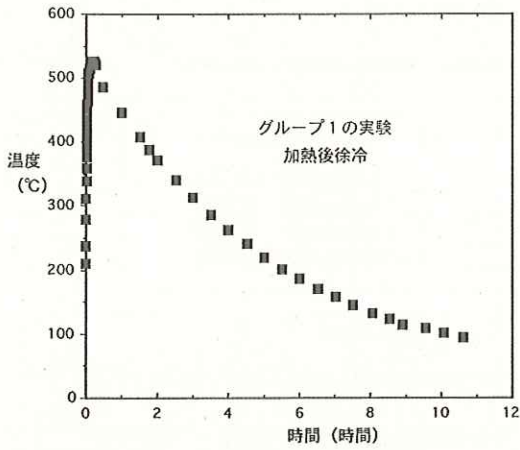


図4.4.1-1 実験グループ1と2による加熱冷却時間条件

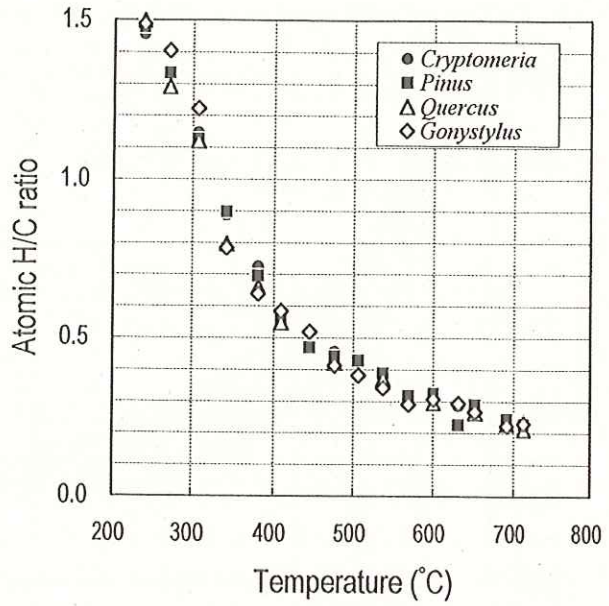


図4.4.1-2 松、杉、櫟、ラミン材を用いて、実験的に求めた炭化木片の温度とH/C原子比の関係。

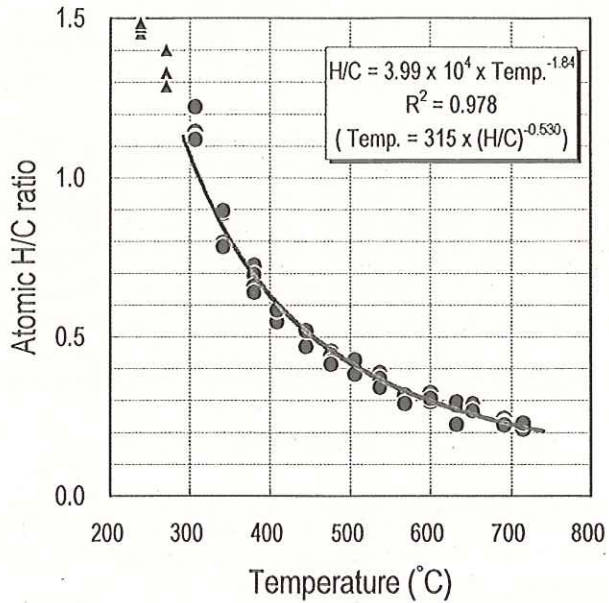


図4.4.1-3 グループ1で実験的に求めた炭化木片の温度とH/C原子比の関係。

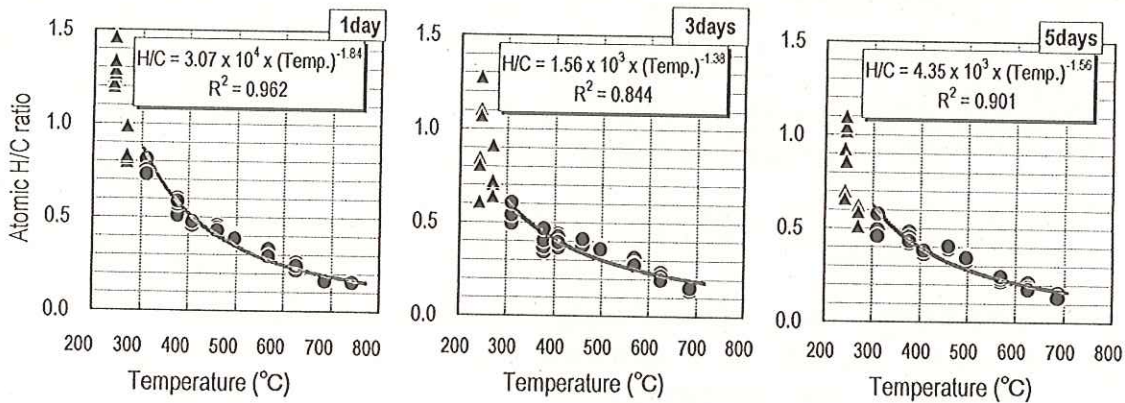


図4.4.1-4 グループ2で実験的に求めた炭化木片の温度とH/C原子比の関係。

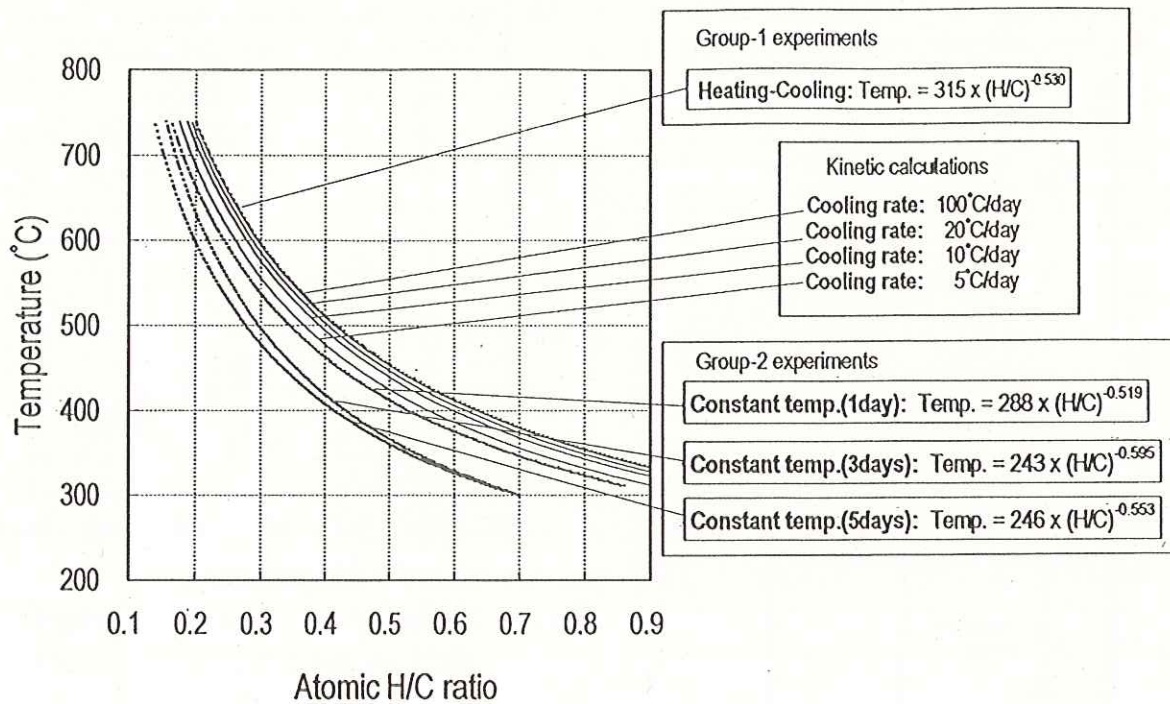


図4.4.1-5 グループ1、2の実験と冷却速度を変えた時の温度-H/C比シュミレーション結果

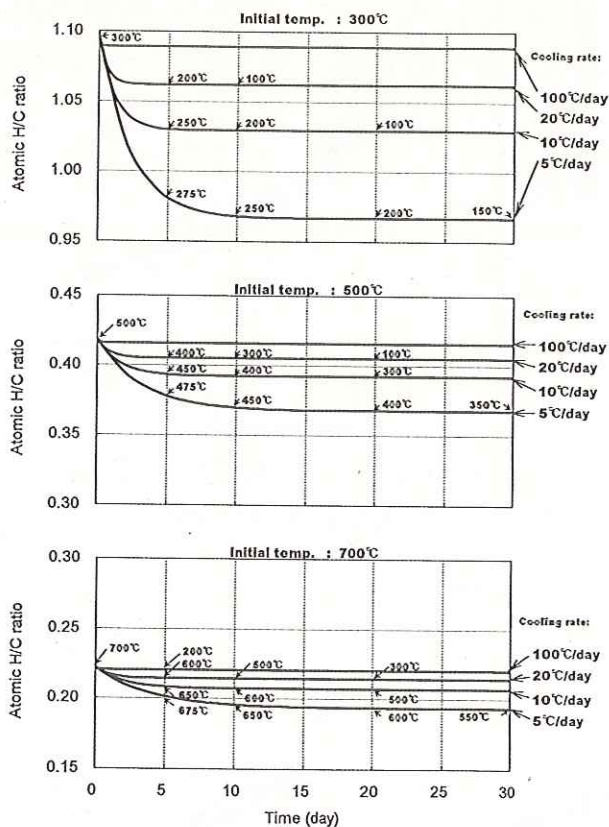


図4.4.1-6 初期温度を300°C、500°C、700°Cで、冷却速度を100°C、20°C、10°C、5°C/日に設定した時のH/C原子比、日数、温度の関係のシュミレーション結果。

1 日間 (Gp-2-1d) : $\log T(^{\circ}\text{C})=3.49-1.84 \times \log(\text{H}/\text{C})$

3 日間 (Gp-2-3d) : $\log T(^{\circ}\text{C})=3.19-0.56 \times \log(\text{H}/\text{C})$

5 日間 (Gp-2-5d) : $\log T(^{\circ}\text{C})=3.64-1.56 \times \log(\text{H}/\text{C})$

相関関数はそれぞれ0.962 (24試料), 0.844 (20試料), 0.901 (20試料)。

⑥反応速度論からの検討 自然界での火砕流堆積物に上記の温度計を適用する場合, 初期温度, 冷却速度とH/C比の関係が重要である。そこで次のような式を用いてこれらの関係をシュミレーションした (図4.4.1-6)。

$$(\text{H}/\text{C})_t = (\text{H}/\text{C})_p e^{-kt_d T} \quad k = A \exp(-E/RT_t)$$

$$E = 0.0902 T_p + 22.8$$

$$T_t = T_p - at$$

$(\text{H}/\text{C})_t$: 温度tにおけるH/C原子比; $(\text{H}/\text{C})_p$: 初期値 (グループ実験1から)

k: 反応速度定数; R: 気体定数(1.987cal/deg)

A: 前指数項(1/sec) 10^{13} (Sweeney and Burnham,1990)

E: 活性化エネルギー (kcal/mol)

T_t : tにおける温度(K); T_p : 初期 (ピーク) 温度($^{\circ}\text{C}$)

a: 冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{日}$) 100 $^{\circ}\text{C}$, 20 $^{\circ}\text{C}$, 10 $^{\circ}\text{C}$, 5 $^{\circ}\text{C}/\text{日}$; t: 冷却時間 (日数)

このシュミレーションの結果, 同じH/C比からの見積もり温度は, 5 $^{\circ}\text{C}/\text{日}$ というもっとも遅い冷却速度の場合でも, グループ1実験から得られた式からの見積もり温度よりも40 $^{\circ}\text{C}$ 程度の違いがあるに過ぎない。すなわち, H/C比変化は冷却 (保温) 時間依存性よりも初期の定置温度に大きく依存していることがわかった。

3. 試料の採取

採取された木片試料は以下の通りである。

(1) 小豆原の埋没林 (立ち木)

SB9901A-1~A-3: 写真4.4.1-1, B-1~B-3: 写真4.4.1-2

SB99111902A~E: 写真4.4.1-3~4.4.1-5

(2) 小豆原の転木

SB9911904A~C: 写真4.4.1-6

直径63cmの転木。この転木は中心部が裂けたような産状を示し, その断面は焦げている。

AとCは材の中心部, Bは辺縁部である。

(3) 小豆原の立ち木を含む砂礫層の上位の砂層中の炭化木片 (写真4.4.1-11)

SB9911903-1,2

(4) 小豆原の埋没林 (立ち木) の約500m上流にある火砕流堆積物中の炭化木片 (写真4.4.1-9)

SB9902-1~5

火砕流堆積物は厚さが80cm以上で, 火山灰と火山礫からなり, 本質または類質のデイサイト岩片 (亜角~亜円礫) と基盤由来の花崗岩質岩片 (角礫) を含む。セグリゲーションパイプが認められる (写真4.4.1-7, 8)。この火砕流堆積物の上位には厚さ15cm程度の砂層が見られ, この中にも再堆積した炭化木片が含まれる (写真4.4.1-10)。

4. 木片試料のH/C比測定結果とその考察

木片試料には雨水や腐食によって腐植酸、フミン酸、炭酸塩などが付着しているため、これを除去する必要がある。そこで、試料を蒸留脱イオン水を用いて洗浄後、0.5規定の水酸化ナトリウムと1規定の塩酸水溶液を使用して、超音波洗浄器により、溶液の色が透明になるまで繰り返し洗浄。その後、蒸留脱イオン水を用いてpHが7になるまで洗浄。その後、乾燥器中で110℃で乾燥後、微粉末試料とする。

表4.4.1-1 分析結果一覧

試料番号	産出する層	産状	木の部位	記載	H	C	H/C	見積り温度 (°C)	
					(wt%)	(wt%)	原子比		
SB9901	A-1	砂礫層	立木(A-5幹)	幹の緑部	茶色, 樹脂繊維状, 軟らかく弾力性あり	4.68	52.4	1.064	305
SB9901	A-2	砂礫層	立木(A-5幹)	幹の緑部	茶色, 樹脂繊維状, 軟らかく弾力性あり	5.15	51.8	1.185	288
SB9901	A-3	砂礫層	立木(A-5幹)	幹の緑部	茶色, 樹脂繊維状, 軟らかく弾力性あり	5.19	51.1	1.210	285
SB9901	B-1	砂礫層	立木(A-9幹)	幹の緑部	茶色, 樹脂繊維状, 軟らかく弾力性あり	5.01	51.7	1.155	292
SB9901	B-2	砂礫層	立木(A-9幹)	幹の緑部	茶色, 樹脂繊維状, 軟らかく弾力性あり	4.97	51.4	1.151	292
SB9901	B-3	砂礫層	立木(A-9幹)	幹の緑部	茶色, 樹脂繊維状, 軟らかく弾力性あり	5.09	51.7	1.173	289
SB9111902	A-1	砂礫層	立木(A-9幹)	幹の緑部	黒色, 樹脂繊維状, 軟質	4.71	55.3	1.015	313
SB9111902	A-2	砂礫層	立木(A-9幹)	幹の緑部	黒色, 樹脂繊維状, 軟質	4.89	52.5	1.111	298
SB9111902	B-1	砂礫層	立木(A-9幹)	幹の緑部	黒色, 樹脂繊維状, 軟質	4.57	55.0	0.992	316
SB9111902	B-2	砂礫層	立木(A-9幹)	幹の緑部	黒色, 樹脂繊維状, 軟質	4.43	54.5	0.968	320
SB9111902	C-1	砂礫層	立木(A-9幹)	幹の緑部	黒色, 樹脂繊維状, 軟質	4.87	52.4	1.107	298
SB9111902	C-2	砂礫層	立木(A-9幹)	幹の緑部	黒色, 樹脂繊維状, 軟質	4.40	55.8	0.939	326
SB9111902	D-1	砂礫層	立木(A-9幹)	根の緑部	黒色, 樹脂繊維状, 軟質	4.38	55.1	0.946	324
SB9111902	D-2	砂礫層	立木(A-9幹)	根の緑部	黒色, 樹脂繊維状, 軟質	4.30	53.7	0.953	323
SB9111902	E-1	砂礫層	立木(A-9幹)	根の緑部	黒色, 樹脂繊維状, 軟質	4.38	49.8	1.047	307
SB9111902	E-2	砂礫層	立木(A-9幹)	根の緑部	黒色, 樹脂繊維状, 軟質	4.38	49.9	1.046	308
SB9111902	E-3	砂礫層	立木(A-9幹)	根の緑部	こげ茶色, 軟質	5.48	59.1	1.106	299
SB9111902	E-4	砂礫層	立木(A-9幹)	根の中心部	薄茶色, 樹脂繊維状, 軟質	5.37	57.7	1.107	298
								平均	311
								σ	11

表4.4.1-2 分析結果一覧

試料番号	産出する層	産状	木の部位	記載	H	C	H/C	見積り温度 (°C)	
					(wt%)	(wt%)	原子比		
SB9911903	1	砂層	埋もれ木	小枝	黒色, 硬質	4.40	66.2	0.793	356
SB9911903	2	砂層	埋もれ木	小枝	黒色, 硬質	4.65	65.3	0.850	343
SB9911904	A-1		転木	幹の緑部	茶色, 樹脂繊維状, 軟らかく弾力性あり	4.48	69.4	0.770	362
SB9911904	A-2		転木	幹の緑部	茶色, 樹脂繊維状, 軟らかく弾力性あり	4.88	62.7	0.927	328
SB9911904	B-1		転木	幹の中心部	茶色, 樹脂繊維状, 軟らかく弾力性あり	5.48	66.6	0.981	318
SB9911904	B-2		転木	幹の中心部	茶色, 樹脂繊維状, 硬質	6.19	53.6	1.376	266
SB9911904	C-1		転木	幹の中心部	茶色, 樹脂繊維状, 硬質	5.65	74.0	0.909	331
SB9911904	C-2		転木	幹の中心部	茶色, 樹脂繊維状, 硬質	5.74	68.0	1.006	314
SB9902	1	火砕流堆積物	チップ	小枝破片状	黒色, 硬質	3.54	73.9	0.571	424
SB9902	2	火砕流堆積物	チップ	小枝	黒色, 硬質	3.28	73.7	0.530	441
SB9902	3	火砕流堆積物	チップ	小枝	黒色, 硬質	3.41	75.0	0.542	436
SB9902	4	火砕流堆積物	チップ	小枝破片状	黒色, 硬質	3.27	71.0	0.548	433
SB9902	5	火砕流堆積物	チップ	小枝破片状	黒色, 硬質	3.39	72.2	0.560	428

この試料を数時間110°Cで乾燥後、HとCの元素分析を行った。

測定結果の見積もり温度を表4.4.1-1, 4.4.1-2にまとめた。

(1) 小豆原の埋没林 (立ち木)

SB9901A-1~A-3, B-1~B-3のH/C原子比は1.064~1.210で、グループ1の温度計を用いた見積もり温度は305~285°Cである。この温度計では見積もり温度が300°C以下の場合、信頼性に欠ける点と、約400万年前に堆積した東海層群中の、湖沼に常温で堆積した材のH/C比も同様な値を示すこと(沢田・檜根, 未発表資料)から、この推定温度からは立ち木が加熱されたという積極的な証拠とはならない。

SB99111902A~EのH/C原子比は0.939~1.111で、グループ1の温度計を用いた見積もり温度は326~298°Cである。12試料からの見積もり温度の平均は311°C, 1 σ は11°Cである。焦げたような色を示すところの見積もり温度が313-326°Cであることから、加熱・炭化されている可能性は高い。SB9901B-1~B-3とSB99111902A~Eは同一幹(A-9)から採取した試料であり、前者は幹残存部の頂部付近、後者は根元に近い部分である。測定結果から幹の下部が上部に比べて高い温度に加熱された可能性が高い。

(2) 小豆原の転木

SB9911904A~CのH/C原子比は0.770~1.376で、グループ1の温度計を用いた見積もり温度は362~266°Cである。H/C原子比1.376は他の値と著しくかけ離れていることから、洗浄が不充分のため付着したHの除去が完全でなかった可能性が高い。この試料を除くと、見積もり温度が314-362°Cとなる。焦げていることを考え併せるとこの材は炭化していると言える。

(3) 小豆原の立ち木を含む砂礫層の上位の砂層中の炭化木片

SB9911903-1,2のH/C原子比は0.793~0.850で、グループ1の温度計を用いた見積もり温度は356~343°Cであり、明らかに炭化している。この炭化木片は再堆積したものであるが、木片の表面は滑らかであることから森林火災を受けたものではなく、おそらくは火砕流堆積物中のものに由来すると考えられる。

(4) 火砕流堆積物中の炭化木片

SB9902-1~5の炭化木片のH/C原子比は0.530~0.571で、グループ1の温度計を用いた見積もり温度は441~424°Cであり、明らかに炭化している。セグリゲーションパイプが認められることも考え合わせると、この温度は火砕流堆積物の定置温度に近いものと判断される。

5. 謝辞

文化財調査コンサルタント株式会社渡辺正巳氏, 三瓶自然館の福岡 孝氏, 中村唯史氏, 松井整司氏には試料採取に際してお世話になった。記して礼を述べる。

6. 文献

Sawada Y., Sampei Y., Hyodo M., Yagami T. and Fukue M.2000, Estimation of emplacement temperatures of pyroclastic flows using H/C ratios of carbonized wood. Jour. Volcanol. Geotherm.Res. (in press)

Sweeney J.J. and Burnham, A.K., 1990, Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 74, 1559-1570.



写真4.4.1-1 A-5幹の上部。SB9901A-1～A-3



写真4.4.1-2 A-9幹の上部。SB9901B-1～B-3

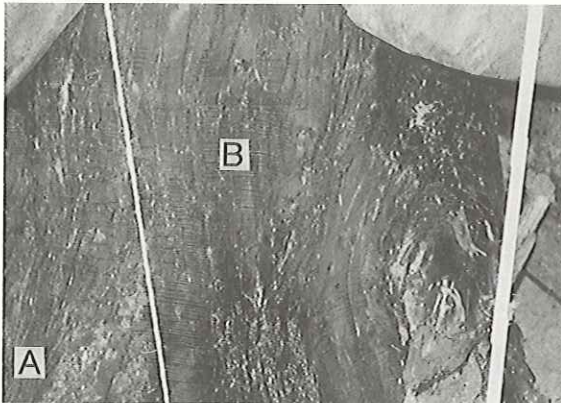


写真4.4.1-3 A-9幹の下部。SB99111902A, B

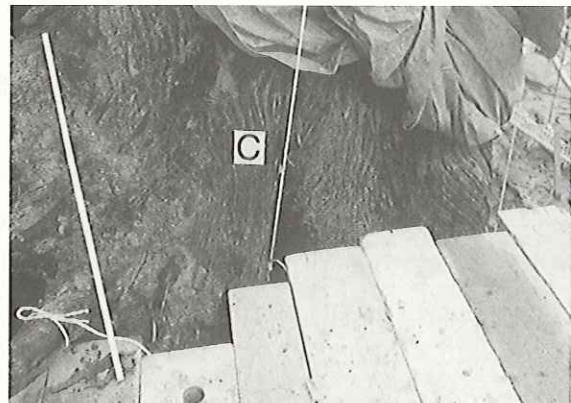


写真4.4.1-4 A-9幹の下部。SB99111902C

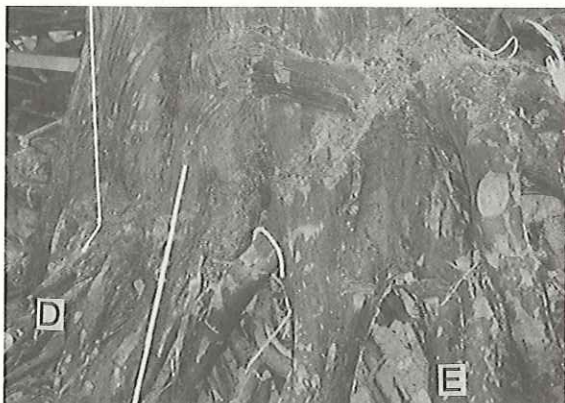


写真4.4.1-5 A-9幹の下部。SB99111902D, E

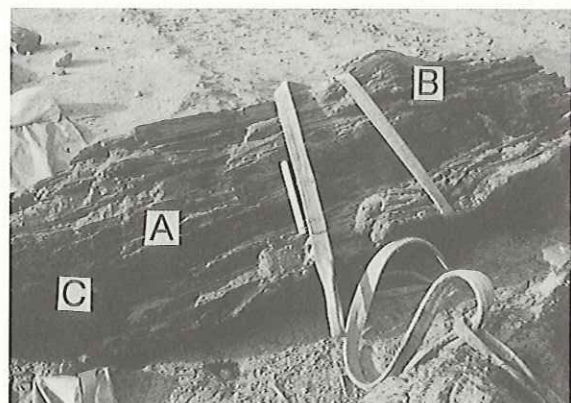


写真4.4.1-6 A-9幹付近から産出した倒木。
SB99111904A～C



写真4.4.1-7 C調査区の火砕流堆積物



写真4.4.1-8 C調査区の火砕流堆積物近接。セグレーションパイプが顕著に発達する。

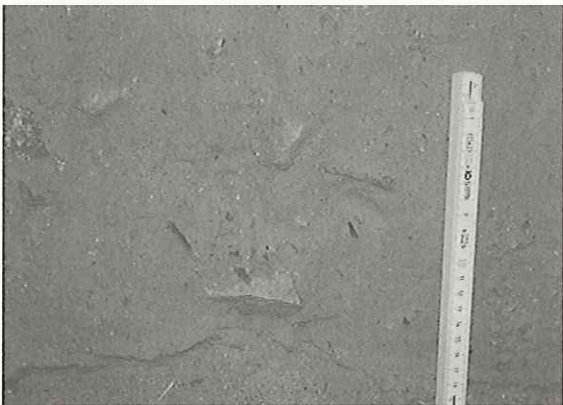


写真4.4.1-9 C調査区の火砕流堆積物中に含まれる炭化木片



写真4.4.1-10 C調査区の火砕流堆積物の上位に重なる砂層。



写真4.4.1-11 A-9掘り出し孔内の砂層に点在する炭化木片。SB99111903-1,2