

# 阿波市の地質と地形

## —とくに「阿波の土柱」の成因と景観保全—

地質班（地学団体研究会）

石田 啓祐<sup>\*1</sup> 西山 賢一<sup>\*1</sup> 中尾 賢一<sup>\*2</sup> 辻野 泰之<sup>\*2</sup> 森江 孝志<sup>\*3</sup> 東明 省三<sup>\*4</sup>

**要旨：**地質班は第四系土柱層の地質と地形、および天然記念物「阿波の土柱」の成因と経年変化を調査・検討し、景観の維持と保全に向けた提言を行った。「阿波の土柱」は、バッドランド地形であり、土柱層からなる丘陵斜面に生じた古い崩壊地形が侵食されたとみられる。土柱層に挟在する火山灰は、その屈折率から、約100万年前の猪牟田ピンク火山灰に対比された。「阿波の土柱」の景観は、近年、植物の繁茂による阻害が著しいばかりでなく、徒長樹木の台風など暴風雨時の根本の揺れに起因する柱の崩壊と谷の埋積が進行しており、景観保全策の検討が急がれる。

**キーワード：**阿波の土柱、天然記念物、バッドランド、土柱層、和泉層群

### 1. はじめに

阿波市阿波町の切戸から阿讃山麓にかけて、土柱層と呼ばれる礫層が分布している。「土柱」はこの礫層の崩壊地形に刻まれた雨裂（ガリー）の集合による侵食地形（バッドランド：悪地地形）であり、「阿波の土柱」（阿波市阿波町北山540）は1934（昭和9）年5月1日に国指定天然記念物に指定された（図1）。ひだやカーテン状にナイフリッジ（切り立った尾根）が形成され、土柱が林立するスケールの大きな景観が「阿波の土柱」の特徴となっている。昭和36年には県立自然公園の一つに指定され、昭和48年には、農林省の自然休養村にも選ばれた。

今回、地質班は、阿波市の依頼により、「阿波の土柱」の景観維持・保全に向けて、「阿波の土柱」の経年的な変化、ならびに土柱層の地質学的・地形学的特徴を調査・検討した。加えて、阿波市に分布する和泉層群の大型化石を検討した。

### 2. 地質概要と研究史

#### 1) 和泉層群と大型化石年代

阿波市北部に分布する阿讃山脈には、白亜紀の堆積岩である和泉層群が分布している。阿波市に分布する和泉層群の大部分は、主に海底を重力により流れ下る混濁流性の砂岩泥岩互層（タービダイト）で構成される主部相である。和泉層群からの大型化石の産出は、主に和泉層群基底部直上にある泥岩主体の北縁陸棚相に限られており、堆積環境が異なるタービダイト砂岩泥岩互層が卓越する主部相からの大型化石の報告は少ない（西山ほか、2009）。徳島県立博物館の収蔵資料に阿波市市場町大影境目地域産の大型化石資料が数点あった。大影境目地域は、砂質泥岩が卓越し、和泉層群主部相ではなく、北縁陸棚相の層準に含まれる。地層は、北東-南西方向（N45~65° E）の走向を示し、35~55° 南傾斜している。砂質泥岩中には、しばしば層状の赤褐色また、

\*1 徳島大学大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部  
\*4 阿南市文化財保護審議会

\*2 徳島県立博物館 \*3 徳島県那賀町相生中学校

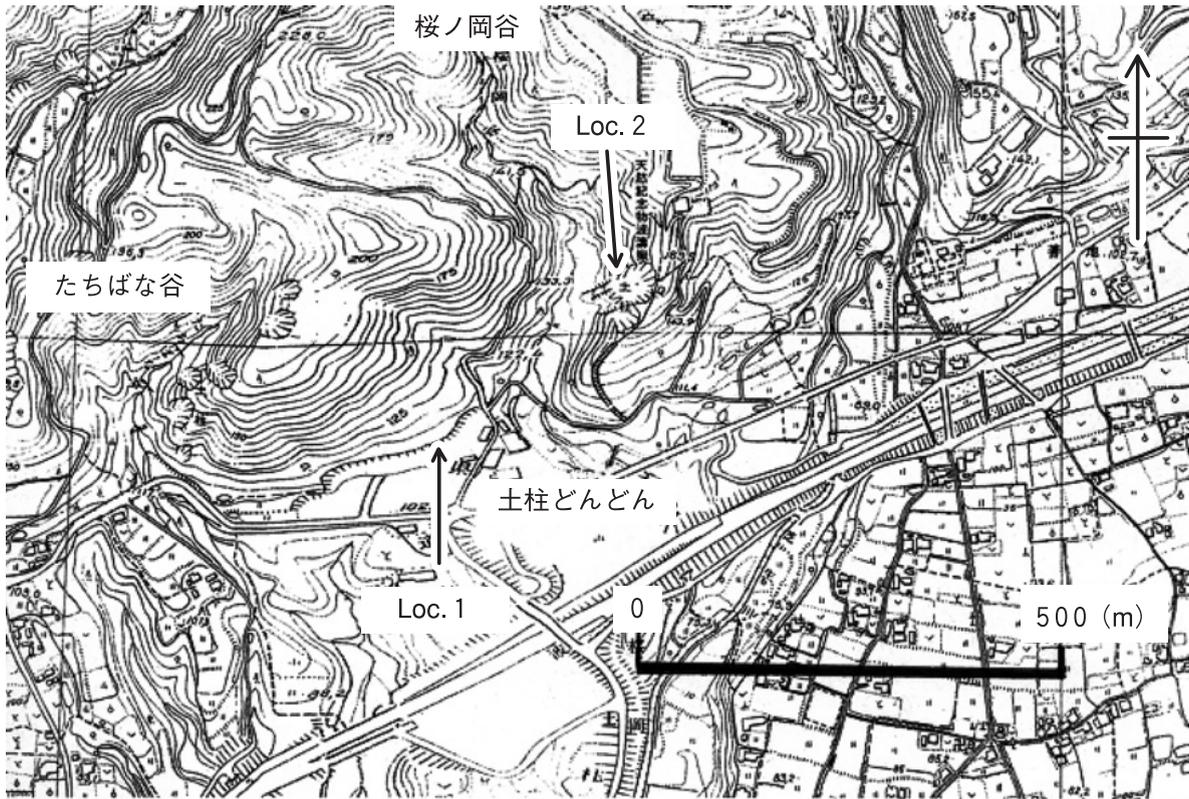


図1a 阿波の土柱 位置図 (旧阿波町発行 1/1万地形図を使用)

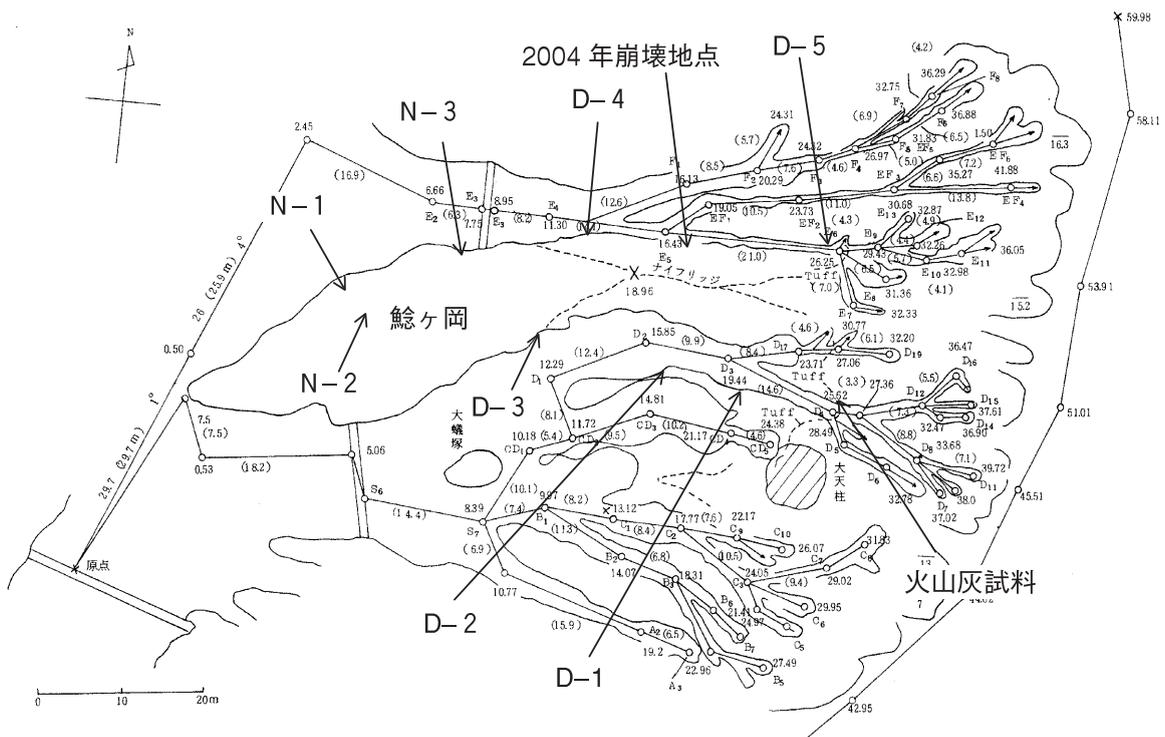


図1b 阿波の土柱 位置図 (東明, 1984を使用)

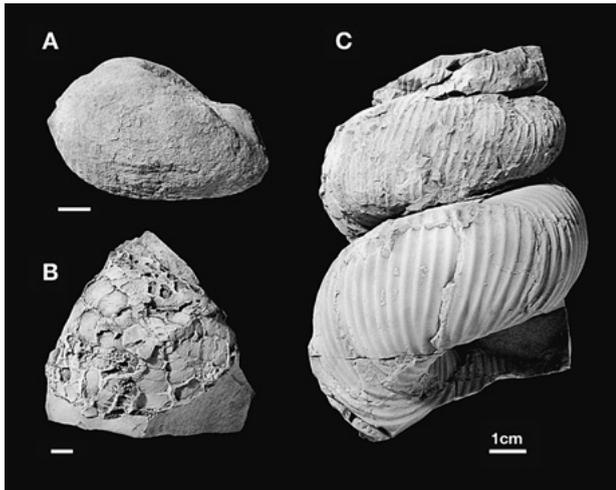


図2 和泉層群から採集された大型化石  
 A. *Nanonavis* sp., (TKPM-GFI1608) : B. ウニ化石,  
 (TKPM-GFI1607) : C. *Didymoceras* sp.  
 AおよびBは、阿波市市場町大影境目地域より産出。  
 Cは、香川県東かがわ市五名長野より産出。すべて徳島県立博物館 (TKPM-GFI) に収蔵。スケールは1 cm。

不定型の黄褐色のノジュールがしばしば含まれ、巢穴状（生痕化石）のノジュールも見られる。大影境目地域から産出が記録されているのは、二枚貝化石の *Nanonavis* sp. やウニ化石であり、また異常巻きアンモナイトの産出も記録されている（図2）。異常巻きアンモナイトは、保存状態が悪く、確実な同定はできないが、*Didymoceras* 属も含まれるノストセララス科の一種である。徳島県立博物館には、大影境目地域の和泉層群よりわずかに下位層準にあたる香川県東かがわ市五名長野産の *Didymoceras* sp. が収蔵されている（図2）。長野地域産の *Didymoceras* sp. は、香川県東かがわ市黒川地域から多産している塔状部が高いタイプの未記載種の *Didymoceras* sp. と類似する（両角，1991）。*Didymoceras* sp. は、上部カンパニアン階中部を示すことから（Morozumi, 1985）、隣接する阿波市市場町大影境目地域の和泉層群も上部カンパニアン階中部に相当する可能性が高い。

## 2) 土柱層

吉野川北岸地域には、半～未固結の礫・砂・泥からなる河成層が分布している。須鎗ほか（1965）は、阿波町土柱付近を模式地としてこれらの河成層を土柱礫層と命名した。岡田（1970）は、三好郡池田町

から阿波郡市場町にかけての吉野川流域の河岸段丘の<sup>14</sup>C年代として2,360～32,000年BPを報告した。須鎗ほか（1965）は、阿波町土柱の土柱礫層下部の粘土層より産出した木片の<sup>14</sup>C年代が28,400年±1,700年BPであることを報告した。須鎗・阿子島（1978a）は土柱礫層を主ウルム亜氷期に対比するとともに、吉野川北岸の土柱礫層相当層を新期扇状地礫層とよび、新期扇状地礫層の南縁部でこの層と指交関係にある古吉野川の氾濫原堆積物を中段段丘礫層とした。

山崎（1985）は、美馬町荒川の衝状断層の露頭で和泉層群にのし上げられた礫層中に挟まれる泥炭層の花粉分析を行い、*Metasequoia* sp. が高率で含まれることから、この礫層を前期更新世の堆積物と推定した。また<sup>14</sup>C年代測定値はその信頼性に大きな問題があり、その使用にあたっては慎重な検討が必要を示した。

水野（1987）は、土柱層に挟在する中上・西谷・土柱・井出口の4種類の火山灰について、鉱物組成・重鉱物組成・火山ガラス屈折率を報告し、中上火山灰を愛媛県に分布する郡中層のT5から上位の層準に見られる結晶質火山灰に、土柱火山灰を大阪層群のピンク火山灰に、井出口（大久保谷）火山灰を香川県に分布する三豊層群の上高野火山灰や高松市西植田町神内に分布する火山灰に対比した。阿子島・須鎗（1989）、須鎗・阿子島（1990）は、西谷、大久保谷、土柱火山灰のフィッシュン・トラック年代、重鉱物組成、火山ガラス屈折率を明らかにし、西谷火山灰 $0.45 \pm 0.11$ Ma、大久保谷火山灰 $1.0 \pm 0.2$ Ma、土柱火山灰 $1.3 \pm 0.2$ Maと報告した。長谷川（1992）は、土柱層最上部の薬師火山灰から $0.34 \pm 0.11$ Maのフィッシュン・トラック年代を報告した（Maは100万年前）。なお、土柱火山灰に対比された大阪層群のピンク火山灰の供給源は大分県の猪牟田カルデラから噴出した耶馬溪火砕流であり、その噴出年代は約1.0Maである（壇原ほか，1997；町田・新井，2003）。これらの研究をもとに、水野（1987）は、三好郡三好町から板野郡土成町にかけての吉野川北岸の鮮新・更新統を土柱層と再定義した。さらに、阿子島・須鎗（1989）も吉野川北岸に分布する最上部新生界のうち沖積層および新期扇状地礫層・

低位段丘堆積物を除いたものを土柱礫層と再定義した。

土柱層は、北部に分布する和泉層群と、一部は不整合、一部は断層関係で接する(水野, 1987)。伊藤ほか(1996)は、美馬市脇町から香川県の領家花崗岩分布域にいたる国道193号線ぞいの15.5kmにおいて反射法探査を行い、土柱層の基盤は三波川変成岩類であることを明らかにした。また、土柱層は地下600mに及び、この地の中央構造線である父尾断層より北側の和泉層群が、土柱層の上にせり上がっていることが確認された。「阿波の土柱」は、中央構造線の断層運動による阿讃山脈の隆起量の大きさをも物語っている。

土柱層の層相は、扇状地型礫層と本流型礫層の2つに大別される。扇状地型礫層は、開析扇状地面のほとんどすべてを構成しており、和泉層群に由来する主として砂岩・頁岩・凝灰岩の礫からなる。礫は角礫ないし亜角礫で、円磨度が低く、淘汰もほとんど受けていない。これらの礫層の中に薄い砂層やシルト-粘土層を挟むことがあるが、連続しない。この礫層は阿讃山脈を南流する諸河川が運搬・堆積した旧扇状地性堆積物である。本流型礫層は、粗粒砂を基質とする淘汰の比較的良好な礫層よりなり、三波川結晶片岩類および和泉層群に由来する礫からなる。古吉野川の河床および氾濫原堆積物と推定される。最近になって、武智・鹿島(2009)は、「土柱どんどん」駐車場北側の露頭(後述のLoc.1)において、氷食礫を発見したと報告している。中尾ほか(2009)は、土柱層の礫の供給源に関して、美馬市中上の中央構造線断層系の荒川衝上と美馬断層の間に分布する土柱層には、ざくろ石角閃岩や点紋角閃岩などの高度変成岩礫が特徴的に含まれることを見出し、供給源が愛媛県四国中央市の東赤石山周辺に由来することを特定した。

### 3. 「阿波の土柱」の地質と地形

#### 1) 「阿波の土柱」の地形

天然記念物「阿波の土柱」は、阿讃山脈南縁部の丘陵地域に分布する土柱層(鮮新~更新統)に形成されている侵食地形である(水野, 1996; 吉田, 2004; 太田ほか, 2004)。地形図判読に基づけば、

「阿波の土柱」は、桜ノ岡谷東斜面の崩壊により生じた馬蹄形の滑落崖にガリー侵食が進行した地形とみられる(図1a, b)。同様の崩壊-侵食地形は、西隣のたちばな谷東斜面にも形成されており、天然記念物の波濤嶽をはじめとして、合わせて三山六嶽がある。

「阿波の土柱」は、礫層からなる高さ10m程度の柱状の土塊が林立した特異な景観が見られるバッドランド(悪地地形)の一種といえる。ただし、柱状の形態をなす礫層は、土柱層の分布域の中でも限られた場所(模式地周辺および美馬町の鎧嶽など)にしか存在せず、土柱層分布域で普遍的に形成された侵食地形ではない。このことも、土柱が、斜面崩壊に起因する侵食地形であることを示す。「阿波の土柱」を構成する礫の基質を埋める砂は適度に固結しており、この地層の風化と侵食に対する抵抗力や、降雨量などの気象条件のバランスの上に土柱が現出し、次第に姿を変えながら侵食地形が維持されるとみられる。

「阿波の土柱」指定地内には「鯰ヶ岡」(旧照明塔の土台の丘陵部)と呼ばれる小丘があり(図1b, 3a)、笠井(1922)はこれを柱の崩壊による基部の残存物と見なしていた。今回の調査の結果、現在観察できる「鯰ヶ岡」に露出する礫層は、土柱を構成する土柱層とはファブリック、固結度や走向・傾斜に違いが見られることが明らかになり、基部の残存物ではないことが示唆された。

#### 2) 「阿波の土柱」周辺の土柱層の地質

「阿波の土柱」周辺に分布する土柱層の礫は、すべて和泉層群起源の砂岩であり、礫の円磨度および分級は低い。また、礫は砂や泥が礫を取り囲んだ状態(基質支持)となっている。このような岩相は、土石流堆積物の特徴(八木下, 2001)に一致する。また一般的に、扇状地は扇頂部、扇中部、扇端部と分類され、扇頂部では谷の出口から土石流の主チャンネルが継続していることで特徴づけられる(平, 2004)。したがってこの地点の土柱層は扇頂部で形成された扇状地型礫層であり、堆積物は北に位置する阿讃山脈から土石流として供給されたと考えられる。

「土柱どんどん」駐車場北側の露頭(Loc.1)において、1990年前後に掘削が行われ、東西方向の断

面が観察できる露頭が出現した。この露頭では、礫層に始まり、上部がより上位の礫層によって侵食された、レンズ状の断面形態を示す地層の累重が観察された(図3b)。Loc.1は、扇状地の成長方向にはほぼ直交する断面なので、レンズ状の断面形態は、土石流ロープ(平, 2004)の横断面を見ているものと考えられる。なおこれとは別に、堆積後の傾動運動によって、この地点の土柱層は全体的に北東に20°程度傾斜している。

「阿波の土柱」(Loc.2)は、Loc.1と対照的に、扇状地の成長方向および土石流ロープの伸長方向に沿った断面である。したがってこの地点では見かけ上地層が連続し、レンズ状の断面形態は観察されない。なお、この地点の土柱層もLoc.1と同様、全体的に北東に約20°傾斜している。



図3a 鯨ヶ岡

### 3) 土柱層に含まれる火山灰の対比

「阿波の土柱」模式地の砂礫層には、厚さ20cm程度の灰白色の細粒火山灰が挟在する(水野, 1987など)。水野(1987)は、この火山灰を大阪層群に含まれるピンク火山灰(猪牟田ピンク: Ss-Pnk)に対比しているが、町田・新井(2003)によりその改訂された「新編火山灰アトラス」では、土柱火山灰の対比結果は掲載されておらず、阿波町井出口に分布する井出口火山灰(水野, 1987)がSs-Pnkに対比されている。そこで今回、土柱火山灰の対比を行うため、徳島県と阿波市教育委員会の許可後に微量の火山灰試料を採取し、屈折率測定による火山灰の同定を行った。分析は株式会社古澤地質に依頼し、火山ガラスおよび重鉱物(角閃石および斜方輝石)の鉱物学的特徴の記載、ならびに屈折率測定を行った。測定に用いた装置は温度変化型屈折率測定装置MAIOT(株式会社古澤地質製・所蔵)であり、火山ガラス32粒子、重鉱物35粒子の屈折率を測定した。火山灰の鉱物学的特徴の記載方法、ならびに屈折率測定方法は、古澤(1995)に従った。

分析を行った土柱火山灰の鉱物組成ならびに屈折率測定結果を表1に示す。土柱火山灰は、バブルウォール型およびパミス型火山ガラスを主体としたガラス質火山灰である。重鉱物としては緑色の普通角閃石を多く含み、斜方輝石も含む。屈折率測定の結果、火山ガラスの測定値は1.4998~1.5009である。また、斜方輝石の屈折率は1.706~1.710のものが多



図3b 土柱どんどん駐車場裏手の露頭(Loc.1)。1996年3月撮影。土石流ロープの境界と思われる岩相変化が顕著である。

表1 土柱火山灰の岩石記載ならびに屈折率測定結果

試料名	火山ガラス			石英・長石	重鉱物			Opq	岩片	計	火山ガラスの屈折率	斜方輝石の屈折率 モード：1.706-1.710, 1.700-1.704も少量
	Bw	Pm	O		Opx	Cpx	GHo					
土柱火山灰	112	80	0	91	2	0	15	0	0	300	1.4998-1.5009	

Bw：バブルウォール型  
 Pm：パミス型  
 O：低発泡型  
 Opx：斜方輝石  
 Cpx：単斜輝石  
 Gho：緑色普通角閃石  
 Opq：不透明鉱物

表2 山中式土壌硬度計を用いた土柱層の硬度測定結果

測定回数	N-1	N-2	N-3	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5
1	21	18	22	26	25	23	25	25
2	22	18	23	24	25	23	27	27
3	23	22	21	24	27	25	26	27
4	22	19	22	27	25	22	28	26
5	22	20	22	27	24	23	27	26
縮み長さ(平均値, mm)	22	19	22	26	25	23	27	26
硬度P (kgf/cm <sup>2</sup> )	9	6	9	16	14	10	19	17

く、1.700~1.704程度のもものが少量混在する。角閃石の屈折率は1.670~1.675のもものが多く、1.680~1.684程度のもものが少量混在する。以上の鉱物学的特徴ならびに屈折率測定結果から、Ss-Pnkに対比される可能性が高い。

Ss-Pnkは、大分県に広く分布する耶馬溪火砕流堆積物に伴う広域火山灰である。Ss-Pnkの給源は、大分県九重火山北麓の猪牟田カルデラと推定されており、その分布域は、四国・近畿・北陸・関東にも及ぶ(町田・新井, 2003)。Ss-Pnkの噴出年代は、K-Ar年代ならびに古地磁気測定結果(マツヤマクロン：2.58~0.78Maの中の正磁極期のうち、ハラミヨサブクロン：1.07~0.99Maにあたる)と酸素同位体比曲線との対比を行った結果から、1.02Maと推定されている(町田・新井, 2003)。したがって、模式地における土柱層の堆積年代は、前期更新世(2.58~0.78Ma)と考えられる。

#### 4) 「阿波の土柱」の硬度測定とその結果

「阿波の土柱」の成因には、固結していない砂礫層の低い強度に起因する表面侵食などが影響することが考えられる。そこで今回、土壌の硬度を原位置で簡便に測定できる山中式土壌硬度計(標準型、富士理化工業株式会社製)を用いて、砂礫層基質の硬

度測定を行った。測定は同一地点で5箇所行い、その平均値と標準偏差を求めた。測定結果は、硬度計の先端にあるコーン状圧入部の貫入抵抗を示すバネの縮み長さ(mm)として表示され、今回は、松倉(2008)の換算式を用いて、それを土壌硬度P(kgf/cm<sup>2</sup>)に換算した。

測定結果を表2に示す。測定は8箇所で行い、うち4箇所は、急崖直下の「鯨ヶ岡」周辺である。この「鯨ヶ岡」周辺で測定した4地点(N-1~3とD-3)は、いずれも硬度Pが6~10(kgf/cm<sup>2</sup>)のレンジにある。一方、このほかの土柱の柱での測定値(D-1~2, D-4~5)は15~19(kgf/cm<sup>2</sup>)と大きい。このことから、土柱層の標準的な測定値は後者のそれであり、「鯨ヶ岡」は土柱層の本体ではなく、その斜面崩壊等に伴う二次的な堆積物であることを示す。このことは、「鯨ヶ岡」での砂礫層のファブリックや傾斜などが、土柱層本体と大きく異なる野外観察結果と調和的である。

#### 4. 天然記念物「阿波の土柱」の経年変化

地質班は総合学術調査の一環として、「阿波の土柱」の過去30年間の経年変化を明らかにするため、以下の調査を行った。

- a. 過去30年間の景観の経年変化とその要因を解明するため、土柱の写真を収集・整理し比較した。これにより、この間の地形的な変化や、植生の推移が把握できよう。地形的な変化には、平常時の経年的な要因と、暴風雨や地震などに伴うイベント的な変化（2004年台風による土柱の部分倒壊など）がある。
- b. 侵食量を推定するために、土柱間の谷の簡易測量を実施した。
- c. 指定区域内で、土柱の倒壊を招く可能性のある徒長樹木や、景観を著しく阻害している植生を記録した。

### 1) 過去30年間の景観の変化

景観に関して、指定地とその周辺の地形的な変化、植生の推移を把握する目的で、土柱の写真を収集・整理し比較した。時期が明確に特定できる写真は、1980年代以降のものが収集できた（口絵1～3）。これらを比較した範囲においては、土柱のガリー侵食やナイフリッジの地形が露出する部分と谷底の堆積物の状況には、2004年台風16号による土柱崩落部分を除いては、写真で見える限り、顕著な変化は見られず、概ねこの間、ほぼ安定した緩慢な地形的変化の状態と推移していると見ることができよう。一方、植生の変化には顕著なものがあり、特に2000年以降になると、樹木や草本の徒長による景観の阻害と、2004年台風16号の例のように、気象変化に伴い土柱の倒壊を招く可能性のある樹木の存在が目立つようになっていく（口絵3）。

### 2) 「阿波の土柱」の侵食と経年変化

「阿波の土柱」の地形的積年変化に関しては、東明（1984）による侵食量の調査報告がある。東明（1984）は、1963（昭和38）年8月と1983（昭和58年）3月の2回にわたり、ハンドレベル、クリノコンパス、間縄、測竿を用いた簡易測量を行い、その20年間の測量区域内の埋積量から侵食量を推計している。これによると、1963（昭和38）年8月と1983（昭和58年）3月の2回の調査の間に、測量区域内の埋積量は、当時は、年平均194m<sup>3</sup>のペースであったとされている。

その後、同じペースで侵食と埋積が起こっているかどうかは、調査データがないため不明である。筆

者らは今回の調査の一環として、土柱間の谷の傾斜勾配を簡易測量により求め、東明（1984）によるデータとの変化を比較しようと試みた。しかしながら、測線の違い等が大きく、比較区間の目標地点の位置補正が必要となり、地形的変化を明確に求めるには至っておらず、この間の変化は測量誤差の範囲内に留まっている。地形的経年変化の詳細なデータを得るためには、測線を定めた精度の高い方法での経年測量が必要となろう。

### 3) イベント的地形変化の気象要因

ここでは、とくに2004年台風16号により、国指定天然記念物「阿波の土柱」が一部崩落したイベントを取り上げて、その要因について考察する。

#### (1) 経緯

旧阿波町役場（阿波町字東原173）での観測によれば、2004年台風16号の影響が最も大きかった2004年8月30日には、連続雨量（30日1～23時）が119mm、最大24時間雨量（29日22時～30日22時）が127mm、最大時間雨量（30日18～19時）が30mmに達した。国指定天然記念物「阿波の土柱」の一部が崩落しているのが発見されたのは、31日朝であり、崩落は30日の夜半～31日早朝の間に起こった。筆者の1人、石田は、9月14日に旧阿波町教育委員会からの連絡を受け、9月22日に、現地調査を行った。

#### (2) 土柱の一部の倒壊状況

「阿波の土柱」正面北寄り（「鯰ヶ岡」に設置されていた旧照明灯北側の谷）手前の土柱の側面の一部が、高さ6m、厚さ4m、奥行8mにわたって、剥がれ落ちるように崩落した（図4, 5, 6）。崩落した側壁の一部（高さ3.5m、厚さ2m、奥行4m）は、谷を隔てて隣立する土柱の側壁にもたれかかり、その側面には崩落した土砂が2m以上崩積した。谷の下流には幅5m、長さ30m以上にわたって粉碎した土砂が流出し、谷を埋積した。また、崩積土の表面には、最大径が2mを超える土塊が点在し、土柱の頂部に生えていたマツなどの常緑針葉樹が数本倒落した。同時に以前に伐採され雨谷に放置されていた樹木も崩落土砂と共に流下していた（図7）。崩落は土柱層に刻まれた東西方向で垂直な節理面から土塊が剥離するように発生しており、剥離部分には節理に沿って一直線に伸びた直径15cm程度のマツの



図4 2004年台風16号による土柱の崩落直下の状況 (2004年9月22日)

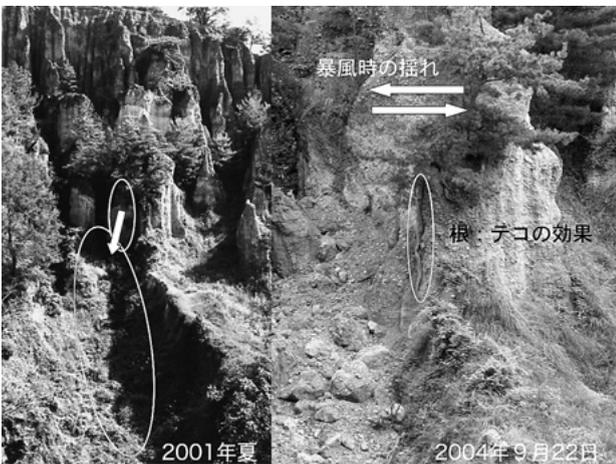


図5 崩落前後の状況の比較と原因となったマツの木の根の張り揺れ (左: 2001年夏; 右: 2004年9月22日, 石田撮影に加筆)

根が垂直に生えているのが観察された (図5, 8)。この崩落により生じた土砂の量は、流出範囲と堆積物の厚さから192m<sup>3</sup>と見積もられている。この1回の崩落による崩落土砂の量は、東明 (1984) により求められた1963~1983年の20年間における測量区域内での年平均194m<sup>3</sup>という1年分の埋積量に匹敵する。

### (3) 2004年台風16号豪雨によって発生した「阿波の土柱」の崩壊原因

2004年の夏には7月末から8月にかけて、日本には7つの台風が上陸して豪雨が繰り返して発生しており、AMeDAS穴吹観測所では2004年8月の月間雨量が観測史上最大 (当時) の503mm (気象庁, 2009) となるなど、例年に比べて地盤が緩んだ状態にあっ



図6 2004年台風16号による土柱の崩落全景 (2004年9月22日, 対岸の展望台より石田撮影)

たと考えられる。さらに台風通過時の強風で土柱に生えた木が揺られ、垂直に一直線に食い込んで成長した太いマツの根 (図5, 8) が梃子の役割を果たし、とくに土柱層の節理に沿った割れ目の拡大と側壁の剥離・崩落をもたらしたことが推測される。

また、この時に崩落した土柱側壁の上部は、酸化鉄の沈着により、相対的に固結の度合いが高い砂礫層 (暗色部) で構成されるが、土柱の根本にあたる下部 (明色部) は空隙の多い砂礫層からなり、固結度も低く、水が浸透しやすいため、侵食されやすい条件にあったことが伺える。その最終的な結果として、2004年台風16号による豪雨の影響で、土柱の表面から浸透した雨水が土塊の結合力を弱めていたことや、谷底を流れた雨水が土柱の根元付近へ浸透し、また侵食を促したことが付随要因となり、この崩落をもたらしたと推測される。

### 4) 「阿波の土柱」指定区域内で土柱の倒壊を招く可能性のある徒長樹木や景観を著しく阻害している植生の記録

指定区域内で、土柱の倒壊を招く可能性のある徒



図7 崩落により倒落した樹木と流出した間伐材（2004年9月22日）

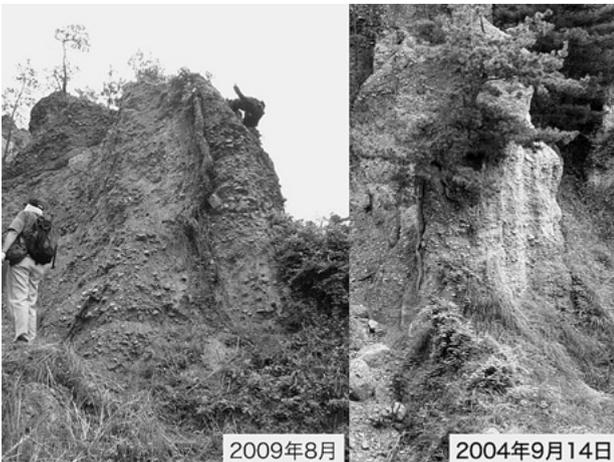


図8 崩落の原因となったマツの木の崩落直後と現在の変化

長樹木や、景観を著しく阻害している植生を記録した。1984年以降の写真を比較すると、その間の樹木の生長は著しく、とくに2000年以降、徒長樹木とツタ類の繁茂は著しい（図9）。大綱として、土柱指定地内の樹木は痩せており、直立しておらず不安定で、徒長するほどに傾斜し、風雨時には、揺れやすく、また傾きやすい状態にあるといえる（図9, 10）。根の張りが浅い樹木は倒れやすく、一方、根の張りが深い樹木は、揺れにより、梛子の効果で土柱そのものを破壊する恐れがある。また土柱は現在ツタで覆われる状況にあり、夏期には本来の地形や地層は全くと言っていいほど見られなくなっている柱も認められる（図9, 10）。

なお、土壌硬度値が14kgf/cm<sup>2</sup>（貫入値25mm）以下だと、植物の根系が容易に侵入しうる（小橋編、

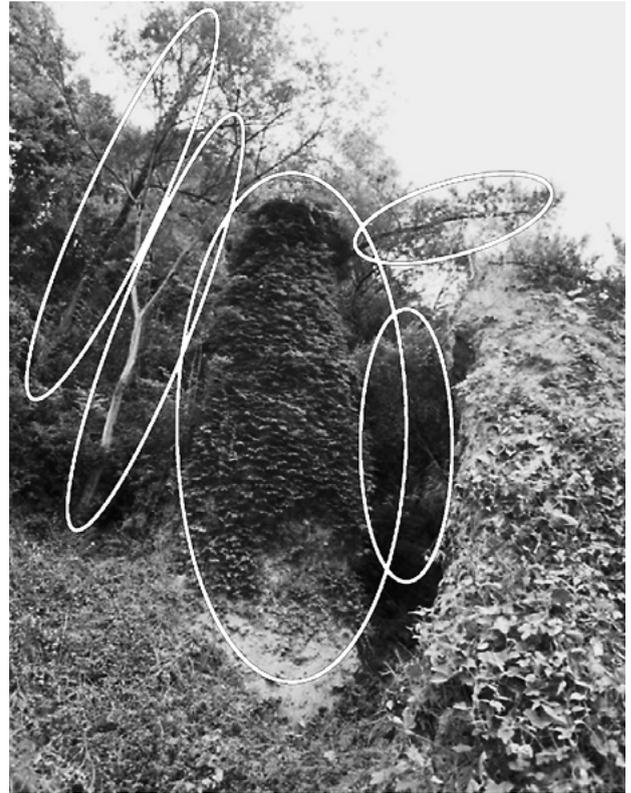


図9 土柱指定地内北部の徒長樹木と土柱を覆うツタ（2009年8月）  
楕円枠内の草木は顕著な例。樹木は痩せており、直立しておらず不安定で、風雨で揺れて傾きやすい。また土柱はツタで覆われ、景観を阻害している。

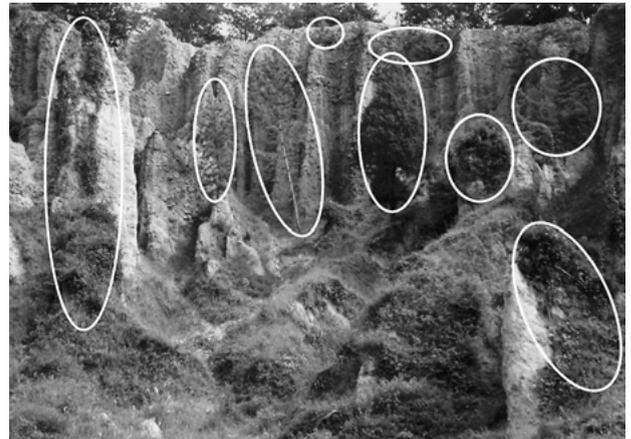


図10 土柱指定地内中央部の徒長樹木と土柱を覆うツタ（2009年8月）  
楕円枠内の草木は顕著な例。左端のツタがはい上がっている柱が大天柱。

1993)。土柱層の二次的な堆積物と考えられる鯨ヶ岡は、硬度値が10kgf/cm<sup>2</sup>以下であり、植生の侵入が特に生じやすいと考えられる。土柱層本体の硬度値は14kgf/cm<sup>2</sup>より一般に高いため、植物の根は浅

いものの、土柱層中のクラックなどを通じて根が土柱層内部に侵入している様子が観察されており、放置した場合、現状以上に植生の侵入が進行することが予測される。

## 5. 考察：「阿波の土柱」の形成と景観保全

### 1) 西向き斜面に集中するバッドランドの成因

土柱周辺では、バッドランドは谷の西向き斜面に集中することが古くから知られている（図1 a）。その成因に関して、これまで以下の3つの説が提唱されている。

- ① 地層の傾斜に伴う<sup>れっか</sup>裂罅（笠井，1922；藤井，1959）
- ② 西風と東風との当たり方の違い（藤井，1959）
- ③ 基盤の和泉層群の走向・傾斜の反映（吉野川研究グループ，1973）

①説は、東向き斜面に谷が形成されないことを説明していない点で、②説は東風と西風とで風力などの違いがあることが認められない点で、③説は土柱層の基盤が三波川変成岩である点、および地下の埋没地形が地表の侵食作用に影響する具体的なプロセスが想定しにくい点で、それぞれ難点がある。

ところで吉野川北岸一帯をみると、バッドランドを形成しているかどうかにかかわらず、天然に形成された大規模な土柱層の露頭の多く（たとえば荒川衝上断層南側の露頭（三好市三野町）、荒川衝上断層、鎧嶽（ともに美馬市美馬町））が、西向き斜面に形成されていることに気づく。すなわちこの問題は、バッドランドの分布の問題だけではなく、土柱層の露頭が西向き斜面に集中する問題としてとらえた方がよい。

土柱層の露頭が西向き斜面に集中する原因として、“中央構造線の右横ずれ運動による選択的侵食”による説を提唱したい。近年の研究で、土柱層は中央構造線の主断層の南側に分布していることが知られている（水野ほか，1993）。中央構造線活断層系の最近の発掘調査（水野ほか，1993；森野ほか，2001など）によれば、四国東部では垂直方向より水平方向の変位が優勢で、活断層の変位センスは右横ずれで約10m/1000年と推定されている。また、土柱周辺でも主断層や派生断層に沿って、河川の流路

が西（下流に向かって右側）にずれている現象が多数見られる（中田ほか，1999）。

ある時期に中央構造線に右横ずれ運動が起こったとすると、阿讃山地から南流する河川は中央構造線に添って西へ屈曲する。その後も河川水が継続的に南流すると、河川の左岸（東岸，西向き斜面）は攻撃斜面となり、侵食力が選択的に強く働くことになる。このようにして河川の左岸は斜面下部の侵食によりそれより上部が崩壊しやすくなり、大規模な露頭が形成されやすくなると考えられる。逆に右岸（西岸，東向き斜面）は滑走斜面となり、侵食力はあまり働かないことになる。この説が、中央構造線による地形変化に関する現在の知見と照らして、最も自然で無理のない説明であろうと考えられる。

なお、Loc.1の露頭は掘削後約20年たって、現在ではガリーによる侵食が進行し、小規模なバッドランドとなっていることから、この周辺の土柱層が垂直に近い角度で露出した場合、短時間でバッドランド化することは確かである。今回実施した山中式土壌硬度計による計測結果によれば、土柱層の本体の硬度は、最大でも20kgf/cm<sup>2</sup>以下と軟質であり、雨水などによる表面侵食を受けやすい地層である。土柱層の上位が土壌および植物の根系に被覆されている場合は、顕著な侵食は進行しないと考えられるが、斜面崩壊や切土などにより土柱層が地表に露出した場合には、以後、比較的急速（10年単位）に表面侵食が進行すると考えられる。



図11 降水後の地下水圧増加によると見られる擁壁に開いた水抜け穴

## 2) 「阿波の土柱」の持続可能な景観の維持に向けて

土柱のガリー侵食地形の露出部分と谷底堆積物の状況に関しては、2004年台風16号による土柱崩落部分を除いては、写真で比較する限り、顕著な変化は見られず、概ねこの間、ほぼ安定した緩慢な地形的変化の状態推移していると思われる。一方で、樹木の徒長や土柱に絡む草木の繁茂が目立ち、景観を著しく阻害している。なお、桜ノ岡谷に整備されている水路の擁壁の一部には、降水直後の土柱指定地からの伏流水の水圧による水抜け穴とみられる破損が認められた(図11)。

以上の検討結果から、「阿波の土柱」の持続可能な景観の維持に向けては、以下の取組が急がれる。

- ・土柱というガリー侵食による悪地地形の現状維持のためには、特に植生の管理、すなわち季節的、経年的に生長・繁茂する草木の日々の手入れが不可欠となろう。
- ・指定区域内においては、土柱の景観維持とイベント的崩壊の防止に配慮した植生と侵食の制御が必要となろう。
- ・水路の擁壁の破損防止のためには、地下水の排水路の確保(水抜き)が必要となろう。
- ・気象や地震災害に伴う土柱のイベント的倒壊の際には、谷を埋積する要因となる粉碎土砂の搬出が必要となろう。

## 6. おわりに

「阿波の土柱」は元来、丘陵斜面に生じた崩壊地形から始まった侵食地形であり、ガリー(雨裂)の集合地形である。そのため、土柱間の谷は、普段は地表水が見られないが、豪雨時には侵食が進み、麓に土砂を流出・堆積させながら、崩壊による急斜面から次第に安定な斜面へと経年的に姿を変えていく趨勢にある。崩壊地形は、同時に急傾斜地でもあり、斜面崩壊が拡大する危険が伴うため、当然のことながら、観光客や、麓で生活する住民の命と生活を守ることが第一であり、日頃の防災が大切となる。したがって、斜面の安全性を考えながら、土柱の経年的な変化と景観を見守り、維持していくバランスが、保護・保全には重要といえる。

## 謝辞

阿波市大戸井義美文化財保護審議会会長には、土柱の調査に参加いただいた。投稿に際して、徳島大学大学院 山本裕史准教授には、原稿を見ていただき、有益な助言を頂いた。記してお礼申し上げます。

## 文献

- 阿子島功・須槍和巳, 1989, 中央構造線吉野川地溝の形成過程. 地球科学, 43 (6), 76-90.
- 壇原 徹・鎌田浩毅・岩野英樹, 1997, 九州中部の耶馬溪火砕流堆積物と大阪層群ピンク火山灰のジルコンのフィッシュン・トラック年代. 地質学雑誌, 103 (10), 994-997.
- 藤井孝志, 1959, 阿波の土柱. 土柱堂, 38+1 p.
- 古澤 明, 1995, 火山ガラスの屈折率測定・形態分類とその統計的な解析. 地質学雑誌, 101, pp.123-133.
- 長谷川修一, 1992, 讃岐山脈南麓における中央構造線沿いの大規模岩盤すべりと第四紀断層運動. 地質学論集, 40, 143-170.
- 伊藤谷生・井川 猛・足立幾久・伊勢崎修弘・平田 直・浅沼俊夫・宮内崇裕・松本みどり・高橋通浩・松澤進一・鈴木雅也・石田啓祐・奥池司郎・木村 学・國友孝洋・後藤忠徳・澤田臣啓・竹下 徹・仲谷英夫・長谷川修一・前田卓哉・村田明広・山北 聡・山口和雄・山口 覚, 1996, 四国中央構造線地下構造の総合物理探査. 地質学雑誌, 102 (4), 346-360.
- 笠井藍水, 1922, 一躍縣下名勝の大關となつた波濤ヶ嶽の土柱. 阿波名勝, 1, 57-68.
- 気象庁, 2009, AMeDAS雨量計データ (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>) (Accessed on Dec. 4, 2009)
- 小橋澄治編, 1993, 山地保全学. 文永堂出版, 280p.
- 町田 洋・新井房夫, 2003, 新編 火山灰アトラス 日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 230p.
- 松倉公憲, 2008, 地すべり・山崩れの力学. 筑波大学出版会, 162p.
- 水野清秀, 1987, 四国及び淡路島の中央構造線沿いに分布する鮮新・更新統について(予報). 地質調査所月報, 38 (4), 171-190.
- 水野清秀, 1996, 徳島県土柱の前期更新世広域テフラ, 土柱火山灰-大阪ピンク火山灰-, 第四紀露頭集, 94, 日本第四紀学会.
- 水野清秀・岡田篤正・寒川 旭・清水文健, 1993, 2.5万分の1 中央構造線活断層系(四国地域)ストリップマップ説明書. 構造図(8), 地質調査所, 63p.
- 森野道夫・岡田篤正・中田 高・松波高治・日下雅義・村田明広・水野清秀・能見忠歳・谷野宮恵美・池田小織・原 郁夫, 2001, 徳島平野における中央構造線活断層系の活動履歴. 地質学雑誌, 107 (11), 681-700.
- Morozumi, Y., 1985, Late Cretaceous (Campanian and Maastrichtian) ammonites from Awaji Island, Southwest Japan. Bulletin of Osaka Museum of Natural History, 39, 1-58.
- 両角芳郎, 1991, 企画展解説書「和泉層群の化石」. 徳島県立博物館, 30p.

- 中尾賢一・石田啓祐・西山賢一・森江孝志, 2009, 吉野川谷, 美馬町中上の土柱層から見出された高度変成岩礫. 徳島大学総合科学部自然科学研究, 23 (1), 1-7.
- 中田 高・後藤秀昭・岡田篤正・堤 浩之・丹羽俊二・小田切聡子, 1999, 1:25,000都市圏活断層図 脇町. 国土地理院技術資料D・1-No.268, 国土地理院.
- 西山賢一・石田啓祐・中尾賢一・辻野泰之・森永 宏・森江孝志・橋本寿夫・伊藤嘉将・山崎健太, 2009, 美馬市美馬町の地質と古生物・和泉層群, 鮮新～更新世, ならびに地すべり地形-. 阿波学会紀要, 55, 1-12.
- 岡田篤正, 1970, 吉野川流域の中央構造線の断層変位地形と断層運動速度. 地理学評論, 14 (1), 1-21.
- 太田陽子・成瀬敏郎・田中眞吾・岡田篤正, 2004, 日本の地形 6 近畿・中国・四国, 東京大学出版会, 383p.
- 東明省三, 1984, 谷の埋積砂礫量から見た台地の浸食 —「阿波の土柱」を例として. 徳島県教育研修センター研究紀要, 65, 63-74.
- 須鎗和巳・中川衷三・大戸井義美・久米嘉明・近藤和雄・東明省三・寺戸恒夫・日野雄一郎・細井英夫・山口昭典, 1965, 徳島県土柱・鴨島-川島地域の第四系. 徳島大学学芸紀要 (自然科学), 15, 13-23.
- 須鎗和巳・阿子島功, 1978, 吉野川流域の中央構造線断層系の第四紀後期の変位量. MTL, 3, 37-42.
- 須鎗和巳・阿子島功, 1990, 阿讃山地南麓・北麓の鮮新～更新統. 徳島大学教養部紀要 (自然科学), 23, 21-31.
- 平 朝彦, 2004, 地質学 2 地層の解説. 岩波書店, 441p.
- 武知賢樹・鹿島愛彦, 2009, 徳島県土柱層の堆積環境について. 日本地質学会第116回学術大会講演要旨, 178.
- 八木下晃司, 2001, 岩相解析および堆積構造. 古今書院, 222p.
- 山崎晴雄, 1985, 吉野川中流美馬郡荒川の洪積層の花粉分析. 活断層研究, 1, 93-96.
- 吉野川研究グループ (阿子島功・久米嘉明・近藤和雄・東明省三・須鎗和巳・祖父江勝孝・寺戸恒夫・古谷尊彦), 1973, 脇町とその周辺の地形発達史. 郷土研究発表会紀要, 19, 43-55.
- 吉田史郎, 2004, 徳島県中央構造線沿いの「阿波の土柱」, 地質ニュース, 600, 62-65.