

# 台湾・車籠埔断層北部豊原地区における活動履歴調査

## Paleoseismological study at Fengyuan site on the northern part of the Chelungpu Fault, central Taiwan

宍倉正展<sup>1</sup>・太田陽子<sup>2</sup>・渡辺満久<sup>3</sup>・澤 祥<sup>4</sup>・山口 勝<sup>5</sup>・柳田 誠<sup>6</sup>  
田中竹延<sup>7</sup>・市川清士<sup>8</sup>・李 元希<sup>9</sup>・盧 詩丁<sup>10</sup>・石 同生<sup>11</sup>

Masanobu Shishikura<sup>1</sup>, Yoko Ota<sup>2</sup>, Mitsuhiisa Watanabe<sup>3</sup>, Hiroshi Sawa<sup>4</sup>,  
Masaru Yamaguchi<sup>5</sup>, Makoto Yanagida<sup>6</sup>, Takenobu Tanaka<sup>7</sup>, Kiyoshi Ichikawa<sup>8</sup>,  
Yuan-Hsi Lee<sup>9</sup>, Shih-Ting Lu<sup>10</sup> and Tung-Sheng Shih<sup>11</sup>

<sup>1</sup> 活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ/AIST, m.shishikura@aist.go.jp)

<sup>2</sup> 横浜国立大学名誉教授 (Emeritus professor of Yokohama National University, QWL03430@nfty.ne.jp)

<sup>3</sup> 東洋大学 (Toyo University, manq@haksrv.toyo.ac.jp)

<sup>4</sup> 鶴岡高等専門学校 (Tsuruoka National College of Technology, sawa@tsuruoka-nct.ac.jp)

<sup>5</sup> 日本放送協会 (NHK, yamaguchi.m-fw@nhk.or.jp)

<sup>6,7</sup> 株式会社阪神コンサルタンツ (Hanshin Consultants Co., Ltd., yanagida@hanshin-consul.co.jp,  
t-tanaka@hanshin-consul.co.jp)

<sup>8</sup> 駒沢大学 (Komazawa University, YHQ01474@nifty.com)

<sup>9,10,11</sup> 台湾經濟部中央地質調査所 (Central Geological Survey, MOEA, Taiwan, dljp@linx.moeacgs.gov.tw,  
ding @linx.moeacgs.gov.tw, looneose@linx.moeacgs.gov.tw)

**Abstract:** Penultimate event to the 1999 Chi-Chi earthquake occurred between 2,000 and 1,200 cal yr BP on the northern part of the Chelungpu fault. We conducted trenching and drilling surveys with radiocarbon dating of samples at Fengyuan site on the northern part of the Chelungpu fault, which extends about 100km in the western part of central Taiwan. Detailed observation at the trench revealed that the two events had similar vertical displacements of about 2 to 3 meters.

**キーワード:** 台湾, 車籠埔断層, 集集地震, トレンチ, 活動履歴

**Keywords:** Taiwan, Chelungpu fault, Chi-Chi earthquake, trench, faulting history

### 1. はじめに

1999年9月21日, 車籠埔断層の活動によって発生した集集地震 ( $M_w=7.6$ ) は, 台湾中部を大きく揺るがし, 甚大な被害をもたらした. 地表には長さ約100 kmに及ぶ地表地震断層が出現し (Fig. 1), 最大上下変位量は約10 mに達した.

車籠埔断層の存在は地震前から知られていたが, その活動履歴についてはデータが得られていなかった. そのため, 地震後, 断層沿いの各所で台湾内外の研究機関による多くのトレンチ調査が行われている. 旧地質調査所活断層研究室 (現産業技術総合研究所活断層研究センター) は, 2000年7月に同断層中部の草屯地区においてトレンチを掘削した (太田ほか, 2001; 杉山ほか, 2001). その結果, 1回前の活動は約300~500年前以前に起こったと推定された. しかし, 長大な車籠埔断層は複数のセグメントからなる可能性もあり, 断層全体の活動履歴は未だに解明されていない. そこで著者らは, 2001年11~12月に, 同断層北部の活動履歴の解明を目的として,

台中北方の豊原市内において, トレンチ調査とボーリング調査を行った. 本稿では, これらの調査の概要を報告する.

### 2. 調査地域の概要

調査地域は台湾中部, 豊原市の天上帝廟地区である (Fig. 1). 本地域には山麓に沿って河成段丘群が分布し, それらは南北方向に走る東上りの低断層崖により切断され, 沖積低地と接している (Fig. 2). ここは車籠埔断層の北部に位置し, 活断層による累積的な変位地形が明瞭に現れている (太田, 1999; 太田ほか, 2000a, b). 1999年集集地震前に撮影された空中写真判読によると, 地震前からすでに低位段丘と沖積低地とを境する低断層崖が存在していた (渡辺ほか, 2000). 地震断層は低断層崖に一致して現れた.

### 3. トレンチの記載

トレンチは用地上の制約から、約 70° の角度で断層と交わる N35° E の方向に掘削した (Figs. 2, 3)。

トレンチ壁面には、明瞭な断層変位を被った堆積物が現れた (Figs. 4, 5)。断層は東傾斜の低角逆断層で、数条分布する。南面では東から Fs1, Fs2, Fs3, 北面では東から Fn1, Fn2, Fn3, Fn4 とそれぞれ呼ぶ。断層の傾斜は、トレンチ下部で 30~50° であるが、上部に向かってより低角になり、南面上段の Fs1 は 0~10° である。

堆積物は 5 層のシルト~礫層 (A~E 層) と、4 層の腐植質土壌 (H1~H4 層) に区分され、下位より E 層, D 層, C 層, H4 層, B 層, H3 層, H2 層, A 層, H1 層の順に堆積している (Figs. 4, 5)。

以下に各層の層相と分布を上位より記載する。また、Table 1 に <sup>14</sup>C 年代測定結果を示す。以下の記載では、暦年校正した <sup>14</sup>C 年代値を用いる。

#### (1) H1 層

H1 層は 1999 年集集地震直前の地表に露出していた、当時の畑の耕作土である。層厚は 30 cm 前後あり、黒色腐植層で植物片、炭化物を含む。南面上段にのみ分布し、Fs1 の活動に伴って上盤側で畳み込まれるように大きく短縮変形して、下盤側の H1 層に衝上する。畳み込まれた H1 層は見かけ上約 8 m で、断層の走向方向に補正すると、約 7 m と見積もられる。北面や東面では地震後に人工的に削剥され、残っていない。

#### (2) A 層

A 層も大部分が南面上段に分布する。北面では上段にわずかに見られるが、地震後に人工的に削剥され、ほとんど残っていない。厚さ 20~30 cm の黄褐色細砂である。炭化物を比較的多く含む。

#### (3) H2 層

H2 層は大部分が南面下段に分布する埋没土壌である。また、北面では N15 付近にわずかに見られる。厚さ 20 cm の暗褐色の緻密な土壌であり、下位の H3 層とは漸移する。本層からは 790-650 cal yr BP の <sup>14</sup>C 年代値が得られた。

#### (4) H3 層

H3 層は明褐色の弱い腐植質土壌である。層厚は 20~25 cm で、断層の隆起側には分布しない。本層からは 1,340-1,170 cal yr BP と 1,180-950 cal yr BP の <sup>14</sup>C 年代値が得られた。なお、本層以上の層準は Fs3 による変位を被っていない。

#### (5) B 層

B 層は明灰色の細砂とシルトからなる。成層構造は認められず、シルトは細砂層中のブロックとして分布する。H3 層と同様に、断層隆起側には分布しない。また北面下段の断層近傍では、西への傾斜を増し、上位の H3 層に傾斜不整合に覆われる。本層からは 2,340-2,150 cal yr BP の <sup>14</sup>C 年代値が得られた。

#### (6) H4 層

H4 層は、断層低下側において、B 層と C 層との間にレンズ状に分布する局所的な埋没土壌である。最

大層厚は 10 cm 程度。本層からは 3,000-2,780 cal yr BP と 2,030-1,830 cal yr BP の <sup>14</sup>C 年代値が得られた。

#### (7) C 層

C 層は灰褐色の砂層で、南面上・下段と北面下段に分布する。厚さは 45~70 cm で断層の隆起側および低下側の両方にみられ、南面上段 S4~5 では Fs1 による著しい変形を示す。本層からは 2,120-1,880 cal yr BP の <sup>14</sup>C 年代値が得られた。

#### (8) D 層

D 層は暗褐色~褐色のシルト質砂層で、南面上・下段、北面下段、東面に分布する。厚さは 70~120 cm で、断層の隆起側と低下側の両方にみられ、南面上段 S5~7 では Fs1 による著しい変形を示す。D 層からは 1,830-1,560 cal yr BP の <sup>14</sup>C 年代値が得られた。

#### (9) E 層

E 層は段丘を構成する砂礫層である。上部と下部に細分され、上部は比較的分级が良く、砂が卓越する砂礫層である。上部の典型的な層相は北面上段で見られる。下部は最大径 150 cm に達する亜円礫を含み、20~30 cm 大の粗い礫を多量に含む礫層で、マトリックスは粗砂または細礫である。淘汰が悪く、成層構造もほとんど見られない。南面上段では、本層下部の砂礫が本層上部から D 層にかけて貫入している様子が観察され、液状化痕の可能性もある。本層上部からは 3,250-2,880 cal yr BP、下部からは 4,810-4,760 / 4,700-4,670 / 4,650-4,420 cal yr BP という年代値が得られた。

#### (10) 基盤岩

基盤岩は中新世の錦水頁岩と呼ばれる破碎をうけた軟岩である。北面下段 N20~21、南面下段 S19~20 の基部に露出する。基盤岩の西端は E 層下部に断層関係で衝上するように見えるが、E 層中の断層のトレースは不明瞭である。

## 4. ボーリングコアの記載

深度 10 m までの地質層序の解明を目的として、外径 66 mm のオールコアボーリング No. 1 と No. 2 (いずれも深度 10 m) を掘削した。ボーリング No. 1 はトレンチ脇の断層低下側で、No. 2 はトレンチの東約 130 m の断層隆起側で、それぞれ掘削した (Fig. 2)。

ボーリング No. 1 では、深度 140~385 cm にシルトと細砂を主体とする地層が分布し、その間の深度 200~215 cm と 260~270 cm に埋没腐植土壌が挟まれる (Fig. 6)。これらはトレンチにおける H2~H4 層や A~D 層に対比されると考えられるが、対応関係の詳細は不明である。また深度 385~600 cm は小~中礫を含む細~粗砂層からなり、E 層上部に対比される。深度 600 cm 以下は礫層で、E 層下部に対比される。

ボーリング No. 2 では表土の下、深度 200 cm までシルト質砂~中砂層が分布し、深度 280 cm 以下は E 層下部に対比される礫層からなる。

## 5. 議 論

トレンチの観察結果からは、1999年集集地震とその1回前の、少なくとも2回のイベントを読みとることができる。その構造と解釈、イベント時期について以下に議論する。

### 5.1 1999年集集地震による変形

南面上段ではH1層、A層、H2層、C層、D層、E層が、畳み込まれるように短縮変形しており、これらは1999集集地震に伴う変形と考えられる。H1層を基準にとると、畳み込まれた地層の長さ（水平短縮量）は約7mと見積もられるが、延性変形もあり、正確な水平短縮量は不明である。しかしながら、少なくとも数m程度以上は水平短縮した可能性が高い。

### 5.2 1999年集集地震より1回前のイベント

南面では、Fs3がB層下部までを変位させているが、その上位のH3層以上にはFs3による変位は認められない。また北面では、B層やC層は断層近傍では西へ傾斜するが、H3層はこれらを不整合に覆ってほぼ水平に堆積している。以上のことから、B層堆積中かそれより後で、H3層の堆積より前にイベントがあったことが明らかである。したがって、これらの地層の年代がイベントの時期を示すと考えられる。しかし、B層SL-3の2,340-2,150 cal yr BPとH4層SL-5の3,000-2,780 cal yr BPの<sup>14</sup>C年代は、上下の地層の年代との関係からみて、両層の実際の堆積年代よりも古い可能性がある。このため、H4層NL-5の2,030-1,830 cal yr BPとH3層NL-7の1,340-1,170 cal yr BPを採用すると、1回前のイベントは2,000 cal yr BP頃より後で1,200 cal yr BP頃より前に発生したと推定される。

ボーリング調査から得られたE層下部上面の高度分布を見ると（Fig. 7）、断層の隆起側と低下側でおよそ5mの高度差がある。これは過去2回分のイベントによる上下変位の累積量と考えられる。本調査地域における1999年集集地震時の上下変位量が2~3mであったことから、1回前のイベントによる上下変位量も2~3m程度であったと推定される。

## 6. まとめ

本調査では、トレンチ掘削により、1999年集集地震に伴う短縮変形構造を観察することができた。また、少なくとも1回の集集地震に先行するイベントを確認することができた。その年代は2,000 cal yr BP頃より後で、1,200 cal yr BP頃より前と推定される。しかし、現在のところ各層準から1~2試料の年代し

か得られていない。まだ測定中の試料が幾つかあり、その結果などから、今後、イベント時期をより限定する必要がある。また、上下変位量は集集地震の時とほぼ同等で、2~3m程度であったと推定される。

本地点における最新2回の断層活動の間隔は2,000~1,200年程度と見積もられる。一方、これまでに行われた車籠埔断層のトレンチ調査は、いずれも本地点より南であるが、そのほとんどで数百年程度の活動間隔が推定されている。即ち、本地点の車籠埔断層の活動間隔は、南の他地点における同断層の活動間隔よりも長く、同断層北部が中~南部とは別のセグメントとして活動している可能性を示唆している。

謝辞 本調査にあたり、地権者の方には調査用地の使用を許可していただきました。天笠咲子さんには中国語の通訳から調査作業に至るまで、いろいろとお世話になりました。記して謝意を表します。

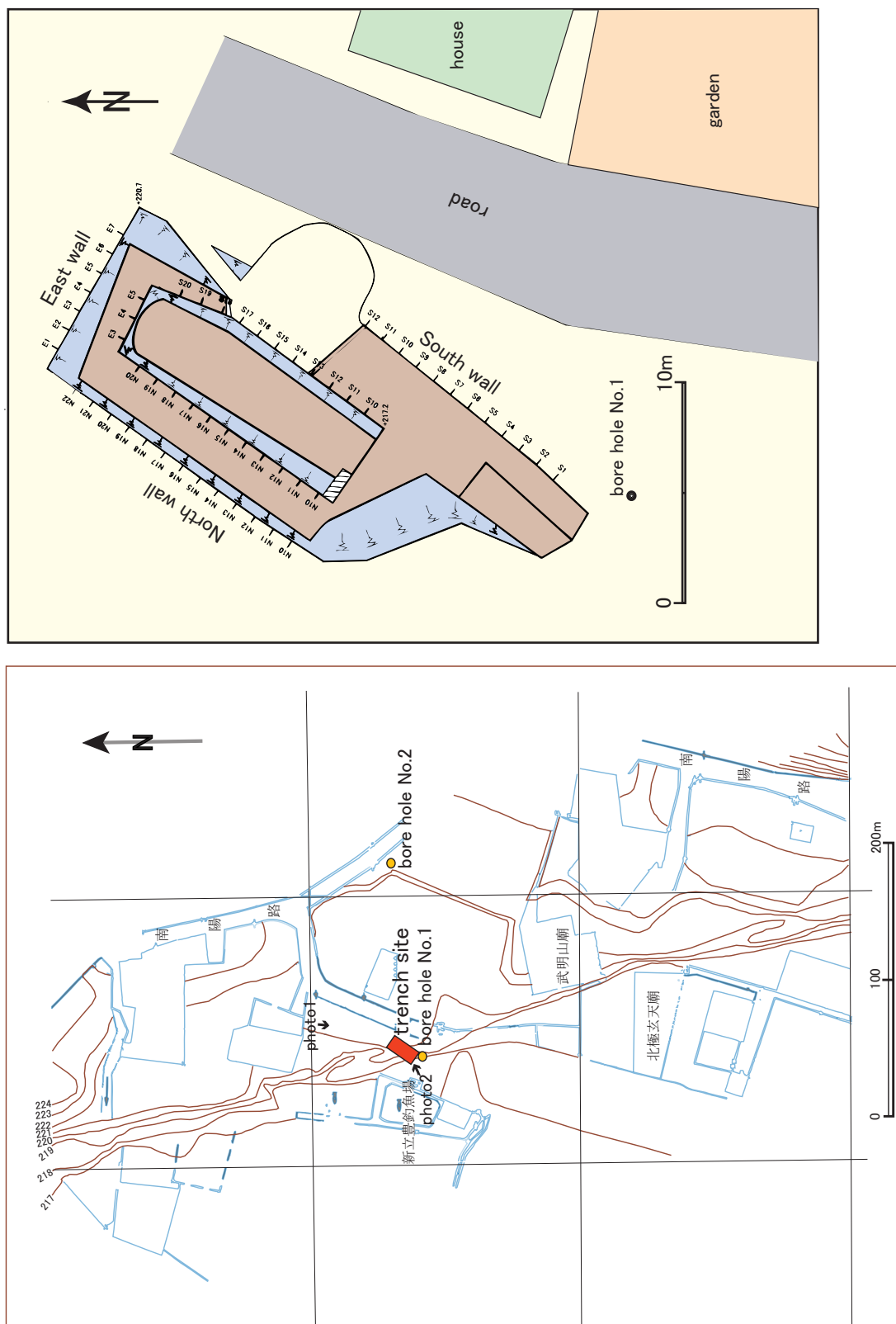
## 文 献

- 経済部中央地質調査所（2000）九二一地震地質調査報告．314p．
- 太田陽子・渡辺満久・鈴木康弘・沢 祥・柳田 誠・金 幸隆（2000a）台湾中部 921 地震の地表地震断層 とくにその性状と累積性．地球惑星科学関連学会 2000 年合同大会予稿集，CD-R，sl-001．
- 太田陽子・渡辺満久・鈴木康弘・沢 祥・柳田 誠・宮脇明子・金 幸隆（2000b）台湾中部，921 地震の地表地震断層 とくにその性状と既存の活断層との関係．日本地理学会発表要旨集，57，176-177．
- 太田陽子・黄 奇瑜・袁 彼得・杉山雄一・李 元希・渡辺満久・沢 祥・柳田 誠・佐々木俊法・鈴木康弘・唐 厚樞・楊 盛淵・曹 育田・廣内大助・谷口 薫（2001）台湾中部，車籠埔断層上のトレンチ調査 - 草屯地区，草屯西断層の例．地学雑誌，110，698-707．
- 杉山雄一・李 元希・関口春子・宍倉正展・太田陽子・吾妻 崇・苅谷愛彦・渡辺満久・斎藤英二・渡辺和明・佐々木俊法（2001）車籠埔断層の活動性及び集集地震時変位量と台湾西部のアクティブテクトニクスに関する研究．活断層・古地震研究報告，no. 1, 301-313．
- 渡辺満久・太田陽子・鈴木康弘・沢 祥（2000）台湾中部 921 地震時の地表地震断層と既存の活断層との関係．地球惑星科学関連学会 2000 年合同大会予稿集，CD-R，sl-002．

（受付：2002年9月18日，受理：2002年10月8日）



第1図. 車籠埔断層の位置と調査地点周辺の概観. 基図は經濟部中央地質調査所 (2000) を使用.  
 Fig. 1. Location map of the Chelungpu fault and index map of the survey area.



第2図. 調査地点周辺の地形とトレンチ平面図.  
Fig. 2. Topographic map of the survey area and plan of the trench.



photo1

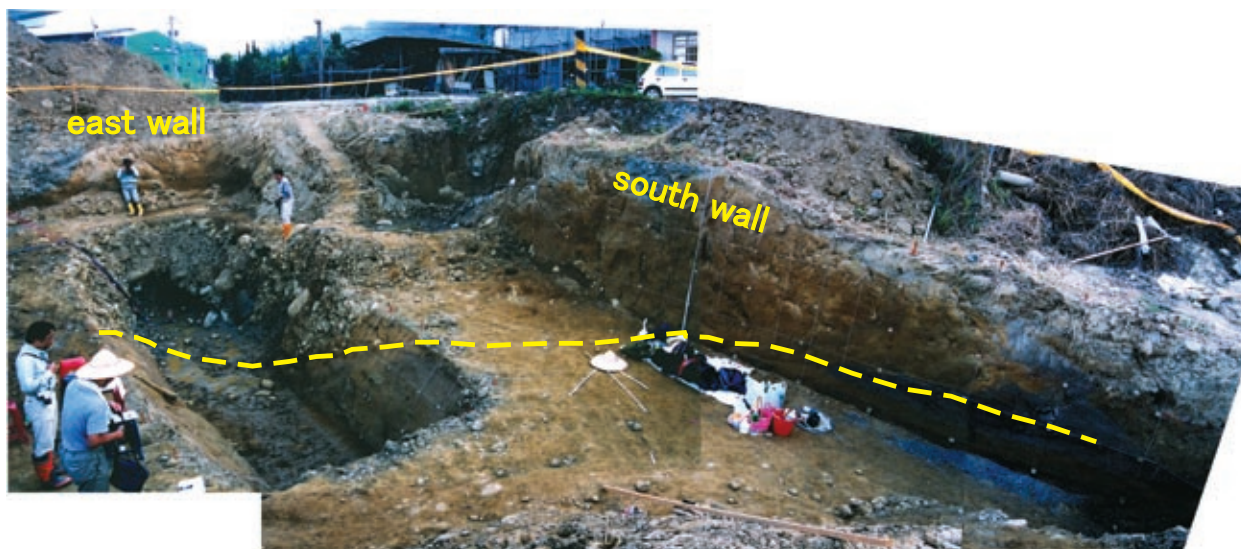
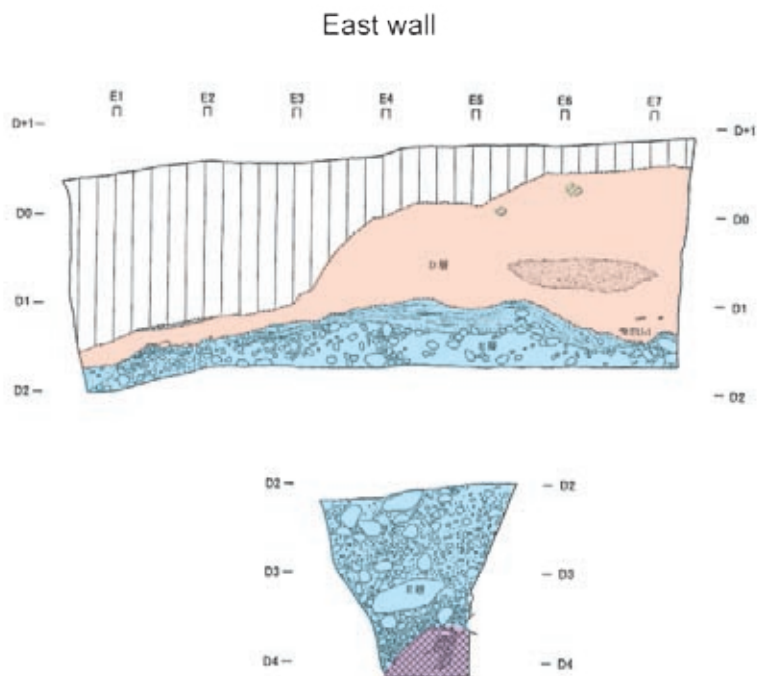
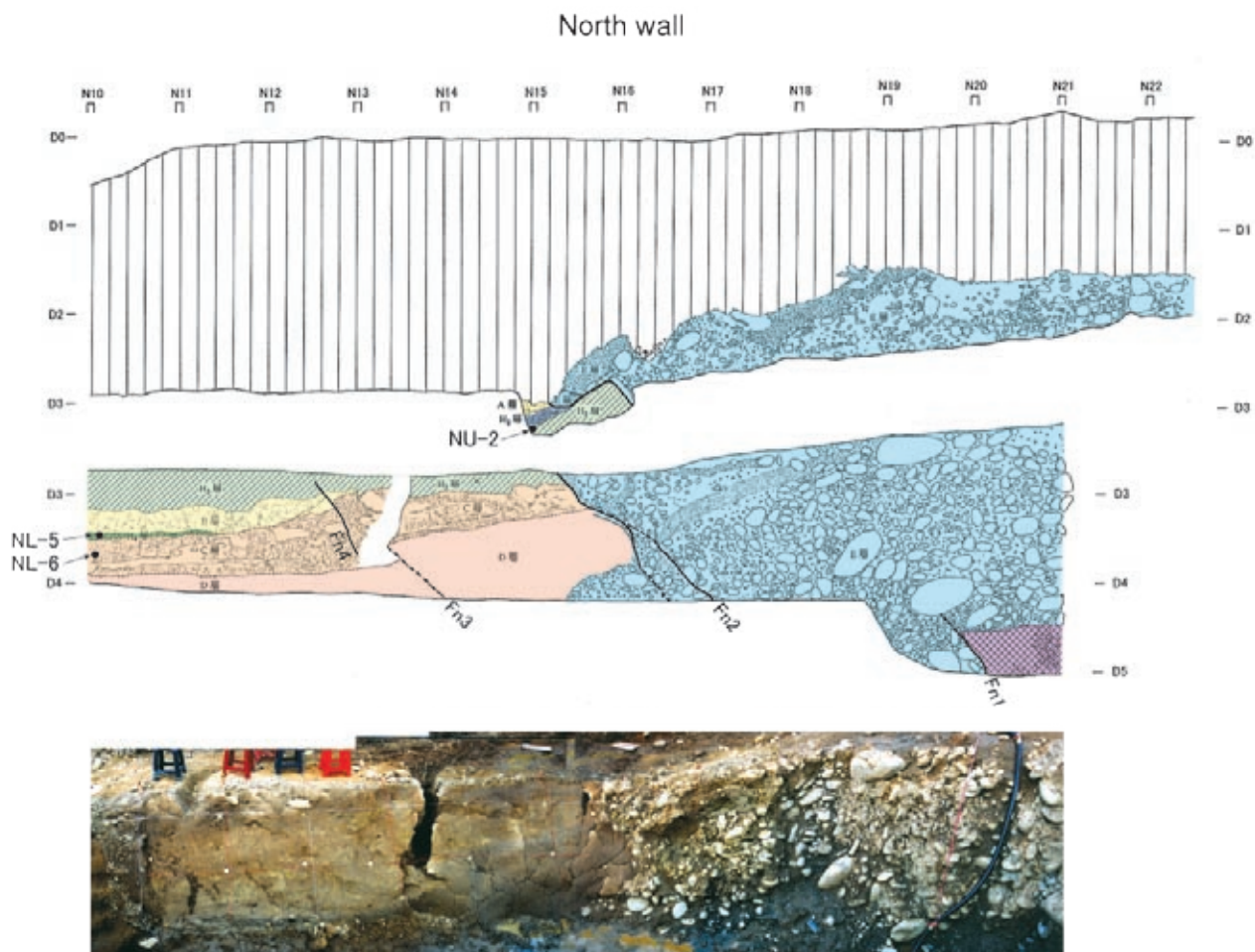


photo2

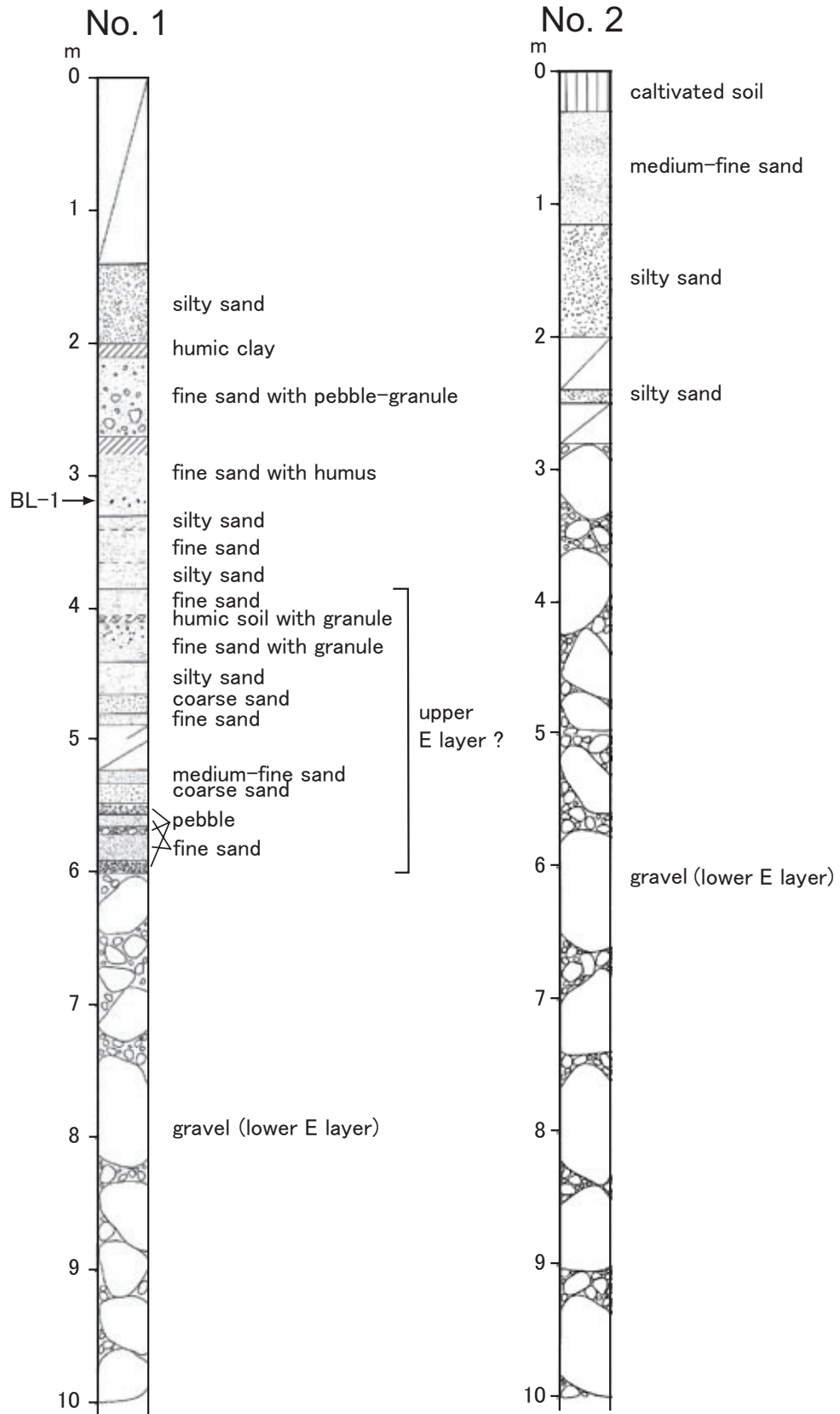
第3図. トレンチ調査地点の写真.  
Fig. 3. Photographs of the trench site.





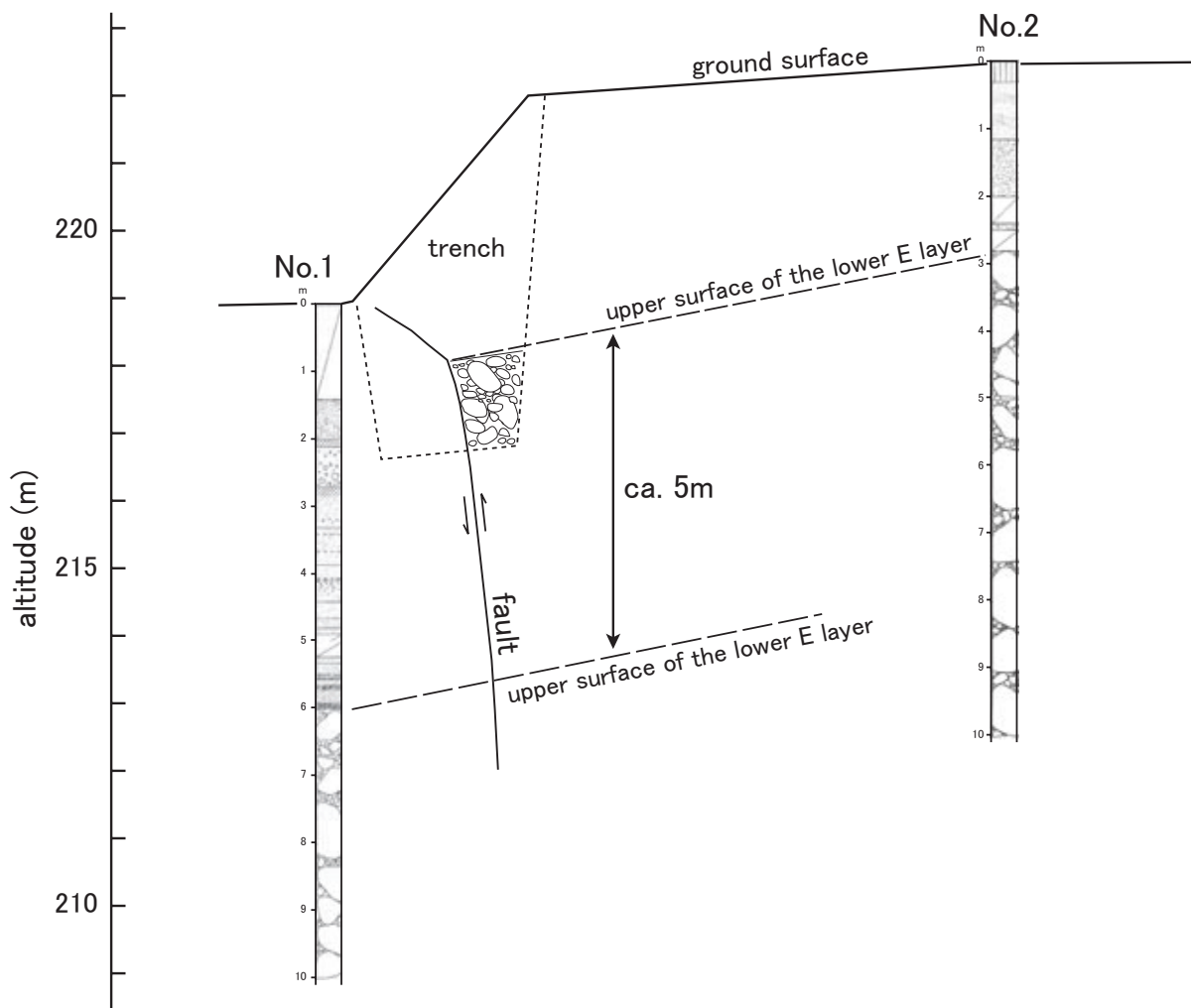
第 5 図. トレンチ北面および東面のスケッチと写真.  
 Fig. 5. Sketches and photograph of the north and east walls of the trench.





第6図. ボーリング柱状図.

Fig. 6. Columnar sections of boring cores No. 1 and No. 2.



第7図. 調査地点の地質断面図.

Fig. 7. Geological cross-section across the survey area.

第1表.  $^{14}\text{C}$ 年代測定結果.

Table 1. List of radiocarbon dating results.

| horizon | sample name | lab. code   | material | method | conventional<br>$^{14}\text{C}$ age | $\delta^{13}\text{C}$ | calendar age<br>( $2\sigma$ )       |
|---------|-------------|-------------|----------|--------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
|         |             |             |          |        | yrs BP                              |                       | cal yrs BP                          |
| H1      | no sample   |             |          |        |                                     |                       |                                     |
| A       | no sample   |             |          |        |                                     |                       |                                     |
| H2      | SL-12       | Beta-163891 | organic  | AMS    | 790 $\pm$ 60                        | -15.9                 | 790-650                             |
| H3      | SL-4        | Beta-163892 | organic  | AMS    | 1150 $\pm$ 50                       | -17.1                 | 1180-950                            |
|         | NU-2        |             | organic  | AMS    | (No Carbon)                         |                       |                                     |
|         | NL-7        | Beta-163894 | organic  | AMS    | 1350 $\pm$ 60                       | -17                   | 1340-1170                           |
| B       | SL-3        | Beta-163884 | organic  | AMS    | 2250 $\pm$ 40                       | -18.7                 | 2340-2150                           |
| H4      | SL-5        | Beta-163895 | organic  | AMS    | 2800 $\pm$ 50                       | -18.6                 | 3000-2780                           |
|         | NL-5        | Beta-163896 | organic  | AMS    | 1980 $\pm$ 50                       | -17.3                 | 2030-1830                           |
| C       | SL-8        | Beta-163885 | organic  | AMS    | 2030 $\pm$ 50                       | -20.1                 | 2120-1800                           |
|         | NL-1        |             | organic  | AMS    | (No Carbon)                         |                       |                                     |
|         | BL-1        |             | organic  | AMS    | (No Carbon)                         |                       |                                     |
| D       | SL-9        | Beta-163888 | organic  | AMS    | 1780 $\pm$ 50                       | -17.9                 | 1830-1560                           |
| E       | SU-5        | Beta-163889 | organic  | AMS    | 2920 $\pm$ 60                       | -19.6                 | 3520-2880                           |
|         | SL-11       | Beta-163890 | organic  | AMS    | 4060 $\pm$ 50                       | -20.4                 | 4810-4760<br>4700-4670<br>4650-4420 |