

## チリ中南部における古地震・古津波調査— 2003 年, 2004 年調査報告—

### Study of paleo-earthquake and paleo-tsunami in south-central Chile — Report of 2003 and 2004 surveys —

宍倉正展<sup>1</sup>・鎌滝孝信<sup>2</sup>・澤井祐紀<sup>3</sup>・佐竹健治<sup>4</sup>

Marco Cisternas<sup>5</sup>・Brian Atwater<sup>6</sup>・Cristian Youlton<sup>7</sup>

Masanobu Shishikura<sup>1</sup>, Takanobu Kamataki<sup>2</sup>, Yuki Sawai<sup>3</sup>, Kenji Satake<sup>4</sup>,  
Marco Cisternas<sup>5</sup>, Brian Atwater<sup>6</sup> and Cristian Youlton<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> 活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ/AIST, m.shishikura@aist.go.jp)

<sup>5,7</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso, Chile (marco.cisternas@ucv.cl)

<sup>6</sup>USGS at Department of Earth & Space Sciences, University of Washington (atwater@u.washington.edu)

**Abstract:** We surveyed tsunami deposits and vertical crustal movements in the source area of the 1960 Chile earthquake in south-central Chile in February 2003 and February 2004. Observing in 45 trenches of the Chuyaquen site, we identified at least three tsunami events and one submergence event. Recent two events are correlated to the 1960 Chilean earthquake and the historical earthquake of 1575. The recurrence intervals of these geologically recorded events are estimated to be 300-400 years, while historical large earthquakes have occurred frequently at every 100-150 years, suggesting that the events recorded as tsunami deposits were unusual earthquakes. On the other hand, several emergence and liquefaction events can be identified on an outcrop of salt marsh in the Chamiza site. <sup>14</sup>C ages of buried peat samples indicate that all the events have occurred in past several centuries. We also studied the coseismic and postseismic movements of the 1960 earthquake along the transect from the Pacific coast to 120 km eastward inland, about middle of the 1960 rupture zone, measuring shoreline change before and after the earthquake. Puerto Montt, 70 km east of the Pacific coast, is located on the boundary between the 1960 earthquake's coseismic downwarp area and the coseismic and/or postseismic upwarp area farther inland. The largest total amount of uplift during the last 44 years was estimated to be 2.1 m in Chamiza, 10 km east from Puerto Montt. According to the interviews, most of the uplift occurred with the earthquake or in the first month after the earthquake. The total amount of uplift decreases eastward.

**キーワード:** 1960 年チリ地震, 津波堆積物, トレンチ, 塩性湿地, 余効変動

**Keywords:** 1960 Chilean earthquake, tsunami deposit, trench survey, salt marsh, postseismic movement

#### 1. はじめに

1960 年チリ地震 (M 9.5) は, 過去 100 年で最大の地震と言われ (Kanamori, 1977), ペルー〜チリ海溝沿いにおけるナスカプレートの沈み込みによって発生した (Cifuentes, 1989). この地震に伴って生じた津波は太平洋を伝わり, 約 24 時間かけて日本列島沿岸まで到達して被害を及ぼした (チリ津波合同調査班, 1961 など). また, チリ中〜南部の沿岸約 1000 km に渡って地殻変動を生じ, その余効変動は地震後 30 年以上も継続している (Barrientos *et al.*, 1992).

チリ地震時の沿岸の地殻上下変動は Plafker and Savage (1970) によって詳しく報告され, 変動量の分布が明らかになっている. 一方, 余効変動については検潮記録や最近の GPS 観測など, データは限ら

れた地点でしか得られていない (Melbourne *et al.*, 2002 など). Barrientos *et al.* (1992) はチリ中南部の Puerto Montt から東の地域で, 海面変動に基づく地震後の地殻上下変動を報告しているが, 数点のデータのみである.

長期的な地殻変動については, 隆起域の Isla Mocha において, Kaizuka *et al.* (1973) や Nelson and Manley (1992) が 6000 年前頃の旧汀線高度を約 34 m と報告している. また Atwater *et al.* (1992) は, 沈降域である Maullin 周辺において, 完新世の離水汀線の存在を明らかにしている. しかし, これらの変動と地震時の地殻変動や余効変動との関係は明らかではない.

津波に関しては, チリ地震時における太平洋岸各地での観測による津波高や被害の報告は多いものの

(Eaton *et al.*, 1961 など), 堆積物を用いた研究例はほとんどない。チリ周辺で生じた歴史地震・津波は, Lomnitz (2004) がまとめているが, チリの歴史はヨーロッパから移民が入植した 16 世紀以降の記録がほとんどであり, それ以前の資料は非常に乏しい。古地震・古津波の地質学的研究も少ないため, 再来間隔も不明である。

以上のように, チリ地震やそれ以前の地震・津波に関し, 従来の研究では未解明な点が数多くある。これらの課題の多くは, 地形・地質に記録された地震の痕跡を詳細に調査によって解明することが可能と考えられる。チリ地震に関連する諸現象を定量的に把握することや, 古地震・古津波の履歴を解明することは, 海溝型地震の諸特性を考える上で非常に重要であり, また, 日本列島でも研究の進む千島海溝や相模トラフ, 南海トラフ沿いで発生する地震との比較という点からも興味深い。

活断層研究センターでは, 2003 年よりチリ・バルパライソ大学と米国地質調査所 (USGS) との 3 カ国の共同でチリ中南部沿岸における津波堆積物と地殻変動の調査を行っている。この共同研究の目的は大きく分けて 2 つあり, 堆積物から過去の津波や地殻変動の履歴を知ることと, 1960 年チリ地震時およびそれ以降の地殻変動を明らかにすることである。そしてこれらの結果に地球物理学的考察を加え, 地震時および地震後のプレート運動をモデル化することを目指している。

本稿では 2003 年 2 月および 2004 年 2 月に実施した調査について, Chuyaquen における津波堆積物調査, Reloncavi 地域における地殻変動調査, Chamiza 川デルタにおける露頭調査の 3 つの項目に分けてそれぞれ報告する。

## 2. Chuyaquen における津波堆積物調査

チリ中南部太平洋岸の Maullin 付近は, 1960 年チリ地震の震源域の中心付近に位置し, 津波被害の大きかった地域の一つである (第 1 図)。また地震時にはおよそ 1.5 m 沈降したことが知られている (Plafker and Savage, 1970)。Maullin 川を挟んだ対岸に位置する Chuyaquen は, 塩性湿地が発達し, 堆積物中に津波や地盤の上下動を記録していることが期待される。筆者らは, 本地域で堆積物の観察を行うため, 2003 年および 2004 年調査において, 海岸から内陸へと直行した 2 本の測線を引き, その測線上に合計 45 個のトレンチを掘削した。各トレンチはおおよそ長さ 2~3 m, 幅 1.5~2 m, 深さ 1~1.5 m である (第 2 図)。

観察の結果, 地表下に少なくとも 4 回のイベントを記録していると考えられる 4 層の細砂とそれらを覆う埋没土壌の互層が確認された (第 3 図)。これらはいずれも層厚 5~20 cm 程度で, 塩性湿地全域に分布するが, トレンチ間における各層準の対比関係は

明確ではない。干潟に近く, 最も地層の保存の良いトレンチにおいて確認された埋没土壌を, 上位からそれぞれ 1960-soil, Juan Vera-soil, Cholina-soil, Genaro-soil と名付けた (第 4 図)。これらと砂層の層相について以下に記載する。なお, 年代値は 2004 年調査における試料の分析結果がまだ得られていないため, ここでは 2003 年調査時に得られた試料の値のみを扱う (第 1 表)。

1960-soil は名前の通り, 1960 年チリ地震頃まで表層に分布していた土壌で, この中には, 現在地表で観察される *Juncus sp.* 等の根茎が生育時の状態で保存されている。1960-soil を明瞭な侵食面で覆う砂層は, 土地の所有者の証言から, 1960 年チリ地震の際の津波で堆積したことが明らかになった。この津波堆積物の特徴は, 基底部に明瞭な侵食面をもって下位の土壌層を覆うこと, そして低角の斜交層理がみられる中粒-細粒砂, 植物片を含む細粒砂の順に重なり, 上位を再び土壌層によって覆われることである。このような特徴は, 北海道東部など本邦の塩性湿地において観察される津波堆積物の特徴 (Nanayama *et al.*, 2003, 鎌滝ほか, 2004 など) と極めて良く似ている。海岸から内陸への層厚や層相の変化をみると, 最も海側のトレンチから約 1 km 内陸のトレンチにかけて, 1960 年津波堆積物の厚さが約 10 cm から約 4 cm へと減少する。また, 粒径もやや細粒化しており, 津波堆積物の一般的特徴とされる陸域方向への層厚の減少と粒径が細粒化という特徴もみられる。

Juan Vera-soil とそれを覆う砂層も 1960-soil および 1960 年津波堆積物と同様の層相, 層厚変化を示し, 1960 年チリ地震時と同程度の規模の津波によって堆積したものと考えられる。Juan Vera-soil から得られた 4 試料の炭質物の  $^{14}\text{C}$  年代は AD1410~1640 を示し, AD1500 前後以降に津波イベントが起こったことが明らかになった。このイベントは歴史資料に記録されている 1575 年の大規模な地震に対比できる可能性が高い。

Cholina-soil とそれを覆う砂層との境界は, 他の層準と異なる特徴的な構造を示す。Cholina-soil 上部には上位の砂層と同じ細砂が 1~2 cm 径のパッチ状に分布しており, 生物擾乱を受けたことが窺える。他の埋没土壌のように, 上位の砂層が仮に津波で堆積したとすると, 明瞭な侵食面を形成すると考えられるが, そのような構造は観察されなかった。生痕化石が保存されていることから, この砂層は, 沈水した土壌の上に堆積した干潟堆積物と判断される。なお, Cholina-soil からは 2003 年の調査では分析試料が得られていない。

Genaro-soil とそれを覆う砂層は, 1960-soil や Juan Vera-soil と同様に, 明瞭な侵食面を伴っており, 層相も似ていることから津波堆積物と判断される。Genaro-soil 中から得られた *Juncus procerus* の根茎は

AD1020～1190という年代を示し、AD1100前後以降に津波イベントが生じたと考えられる。

以上の埋没土壌と砂層よりも下位の層準は、トレンチ調査では観察できなかったが、ハンドボーリング調査では、さらに2層の埋没土壌とそれらを覆う砂層を確認している(第3図)。堆積構造などが不明瞭なため、詳しい記載を行うことはできないが、過去にさらに2回のイベントがあった可能性が窺える。なお、Genaro-soilより下位と思われる土壌中の *Spartina densiflora rhizomes* の根茎からAD540～690という年代が得られている。

これまでに得られた結果から、AD1100前後以降に少なくとも3回の津波イベントが生じており、最近2回は1575年および1960年の地震である。また、Cholina-soilの沈水現象が地震性の沈降の可能性もある。したがって再来間隔は300～400年程度と見積もられる(第5図)。一方、最近数百年の歴史記録に基づけば、チリ中南部沖の海溝沿いでは、1575、1737、1837、1960年に大地震が発生していることが知られており、再来間隔は100～150年程度である。このことから、津波堆積物として記録されている1575年と1960年のイベントが、通常地震より規模の大きい異常なイベントであった可能性が指摘できる。同様の現象は北海道東部などでも明らかになっている(Nanayama *et al.*, 2003)。

今後は、現在測定中の年代値から、イベントの年代をより精度良く決めること、現地で採取した試料から珪藻分析を行い、津波襲来前後の地殻変動量を古生態学的に明らかにすること、また砂質堆積物の試料の軟X線撮影、粒度分析などから、チリ地震によって形成された津波堆積物の堆積学的特徴を明らかにすること、を進めていく予定である。

### 3. Seno Reloncavi 地域における地殻変動調査

1960年チリ地震に伴う地殻上下変動は、Plafker and Savage (1970)の詳細な調査によって、太平洋に面する海岸沿いのほとんどの地域が1～2m程度沈降したことが明らかになっている(第1図)。一方、海溝に近い沖合に点在する島々の多くは隆起しており、最大で5mの隆起量が推定された。この結果に基づき、プレート境界における低角逆断層の震源モデルが提唱されている。またBarrientos *et al.* (1992)は、Puerto Monttから東の6地点で地震後1989年までの余効変動を計測し、震源より深部でのすべりを推定している。筆者らは、2004年調査において、PlafkerらやBarrientosらの研究を再検討し、地震後44年間の余効変動の量を明らかにするため、Maullin周辺からSeno Reloncavi地域にかけての南緯41～42°付近を横断する東西約120km、南北約40kmの範囲の沿岸域で調査を行った(第1図)。

調査方法は、まず海岸近くに住む地震体験者への

聞き取りを行い、海面高度が地震直後に変化したかどうか、また地震後、現在までに変化し続けているか、といった質問に答えてもらった。地震体験者は高齢の人が多かったが、44年経ていても当時の記憶はしっかりとしており、信頼性の高い証言が数多く得られた。この聞き取りの結果を基に地震前の最高潮位汀線の位置を確認し、現在の最高潮位汀線との比高を計測した。有効なデータが得られた測定地点は合計27カ所である。

調査の結果、地震時および直後の変動は、Puerto Montt周辺を境に、西側の沈降地域(down warp)と東側の隆起地域(up warp)とに分けられる。しかしながら両地域とも、全体的に余効変動で隆起していることが明らかになった。最大の累積変動量が計測されたのは、太平洋岸から80km東のChamizaである。かつて高潮位時に床下まで水に浸かっていたという高床式の家屋(以下、ピラーハウスと呼ぶ)において、地震前から住んでいる住人に、柱のどの位置に当時の最高潮位があったかを聞き、現在の最高潮位との比高を測定した。その結果、2.1mという累積隆起量が推定される(第6図)。このほか、後述するChamiza川デルタの露頭近傍でも同様に2.0mの累積隆起が検出できた。Chamiza周辺でPlafkerらが報告した1968年までの隆起量は0.7m、Barrientosらによる1989年までの隆起量は最大1.4mであり、これらにしたがえば、最近15年間で加速度的に隆起していることになる。しかし、聞き取り調査によれば、最近の急速な隆起は知られておらず、むしろ地震時あるいは地震後1週間程度の間大きく隆起したという証言が多い。

Chamizaから15km南東のMetriでも、地震時あるいは地震後短い期間に急激に大きく隆起したことを窺える証拠が得られた。ここでは2階建てのピラーハウスがあり、その1階部分は隆起で急速に下がった海面との間に増築したらしい(第7図)。増築した正確な時期は不明であるが、少なくとも30年以上前という。その後最近まで、ゆっくりした隆起が継続しており、現在までの累積隆起量は1.5mと計測された。

各地で計測された隆起量は、Chamizaから東へ向かって徐々に減少していく傾向がみられ、最東端のCochamoでは0.9mという累積隆起量になった。このCochamoでは、地震から2、3年経過した頃の最高高潮位汀線が地震前とほとんど変わらない位置にあり、その後最近までゆっくりと隆起していたことが明らかになった(第8図)。

Plafkerらが報告した地震時の沈降域は、Puerto Montt周辺より西の太平洋岸までの地域であるが、これらの地域においても地震後は隆起している。Youlton *et al.* (2003)はMaullinにおいて2003年調査の際に、一定期間、独自に設置したタイドスタッフによる潮位観測を行い、1989年に同じ方法で観測

したデータと比較した。その結果、最近 15 年間においても 5~7 cm 程度、わずかに隆起していることが明らかになった。今回の調査では、Ahinco において、沈水で立ち枯れた森林跡のレベルと現生の植生のレベルの比高から、0.8 m の沈降が計測された(第 9 図)。この結果は下限の値ではあるが、Plafker and Savage (1970) による地震時の沈降量(最大 2 m 以上)に比べ、明らかに小さい。これは地震後の隆起によって地震前後の植生の比高が小さくなってきた可能性がある。

今回の結果をまとめると、Plafker や Barrientos らの結果と、傾向はほぼ同じであるが、隆起地域での変動量は明らかに大きくなった(第 10 図)。これは、地震後の余効隆起が最近まで継続していることを示している。しかし、場所により、地震時およびその直後に大きく隆起していたことも明らかになっており、Plafker や Barrientos らが隆起量を小さく見積もっていた可能性もある。このほか Chamiza 周辺では、最近、海面がむしろ上昇しているという注目すべき証言がいくつか得られており、地震時、直後、余効変動における隆起量の時間変化なども検討していかなければならない。

#### 4. Chamiza 川デルタにおける露頭調査

Chuyaquen における津波堆積物からも明らかのように、チリ中南部では過去に 1960 年チリ地震と同様の地震が繰り返し生じており、前節で述べたような地震時の地殻変動や余効変動も海岸湿地の堆積物中に繰り返し記録されていることが期待される。このような観点から、2004 年調査では、1960 年チリ地震時に隆起した Chamiza 川デルタにおいて、過去の隆起運動の繰り返しを復元するため、露頭調査と現地表面上の植生調査を行った。

露頭は、かつて Chamiza 川を人工的に流路変更して開削された河道の左岸沿いにあり(第 11 図)、塩性湿地から段丘化した島状の低地にかけて連続的に堆積物が露出し、低潮位時には高さ 3~4 m の範囲で観察することができた(第 12 図)。Chamiza 川は活火山の Calbuco 山に源を發しており、露頭の基底付近には多くの流木を含んだシルトからなる火山泥流堆積物とそれを覆う砂礫が層厚 1 m 以上で分布する様子が確認された。さらにこれを覆って段丘を構成する地層も基本的に火山泥流起源の堆積物からなり、細砂~シルトと、埋没土壌が重なっている(第 13 図)。地表より 90 cm 下の埋没土壌からは AD780~980 という年代が得られており、段丘の離水年代がその年代より後であることを示す。なお、現時点で、このレベルの段丘以外に過去の隆起をくり返し記録する多段化した段丘は確認できていない。また、Chamiza 以外の隆起地域でも同様に、段丘を確認していない。

塩性湿地の地表面は、*Juncus balticus*, *Scripus*

*americanus*, *Salicornia* sp. が優占する環境である(第 14 図)。その下の堆積物は 4 層の泥炭層と粘土層との互層からなり、層厚約 3 m で段丘構成層を不整合に覆っている(第 15 図)。埋没泥炭層は上位のものから Peat A~D と名付けた。露頭観察の結果、Peat A と Peat B にも *Scripus americanus* の地下茎が多く含まれることが確認され、当時の堆積環境は、現在見られるような塩性湿地であったと考えられる。粘土層と泥炭層の境界における詳しい古環境変動は、現在行っている珪藻分析の結果を待たなければならないが、塩性植物化石が含まれている埋没泥炭層と粘土層の繰り返しは、1960 年以前の相対的海水準変動があった可能性を示している。前述のとおり、本地域では 1960 年チリ地震において急速に隆起した地域であり、地震後もゆっくり隆起し続け、その累積隆起量は 2 m になる。露頭で観察された相対的海水準変動の痕跡は、このような地震に関連した地殻上下変動が繰り返し生じていたことを示している可能性が高い。しかし、Peat D は他の埋没泥炭層のような根茎の発達はあまり見られず、葉などの植物片が濃集しているのみである。このため、離水により形成された泥炭ではなく、河底に堆積した植物片密集層の可能性もある。

各層準から得られた試料の年代は、Peat A で AD1460~1950、以下、Peat B; AD1640~1950、Peat D; AD1420~1640 を示す(第 2 表)。Peat C からは年代試料は得られていない。いずれの層準も広い年代幅を持ち、一部で上下の逆転も見られ、各層準の正確な年代を決めることは難しい。しかしながら最下部の Peat D の年代を採用すれば、本露頭で観察される埋没泥炭層は、いずれも AD1420~1640 以降に堆積したものと考えられる。このほか、各泥炭層間の粘土層中にはテフラが確認され、鍵層となっているが、噴出年代に関する情報は現在のところ得られていない。

過去の地震の直接的な証拠として、以上のような埋没泥炭層と同時に、多くの噴砂痕を見つけることができた。1960 年チリ地震の際にも、調査地域周辺では液状化による大規模な噴砂が確認されている。噴砂は露頭下部の砂礫層を供給源としており、おもに粗粒砂からなる。露頭北側の噴砂痕は、4 層の埋没泥炭層のうち Peat D を貫いて、その 20~30 cm 上と 50~60 cm 上の粘土層中でそれぞれ水平方向へ層厚数 cm 以下の砂層が広がる。そこからさらに上部へ延びているが、上位の Peat C を貫入しているかどうかを確認することは出来なかった。以上の観察から、Peat D と Peat C の間に少なくとも 2 回の噴砂イベントがあったと考えられる。また、上位の砂層から上に延びる噴砂は、その後さらにイベントがあった可能性を示す。下位の噴砂の直上から得られた試料の年代は AD1460~1660 を示し、Peat D の年代に近い。

以上の結果から，本地域では，1960年の隆起を含めて少なくとも3回の離水イベントと，3回の噴砂を伴うイベントが検出された。これらのイベントはすべて最近数百年以内のものと考えられ，Chuyaquenで検出された津波イベントより頻度が高い。両地点の違いは，今後の興味深いテーマである。

## 5. まとめ

2003年および2004年の2回のトレンチ調査により，Chuyaquenでは少なくとも3回の津波イベントと1回の沈水イベントの合計4回のイベントが確認された。最新イベントは1960年で，1回前のイベントは1575年の歴史地震に対応すると考えられる。2回前の沈水イベントの年代は不明であるが，3回前の津波イベントはAD1100年前後以降に発生したと考えられる。これらの年代からみた再来間隔はおよそ300～400年である。これは歴史記録に知られる地震の再来間隔より長い。

2004年より調査を開始したChamiza川デルタの露頭調査では，最近数百年における離水イベントが確認され，さらに3回の噴砂痕を観察することができた。

1960年チリ地震に伴う地殻変動と余効変動の調査では，従来の研究よりも高密度で定量的なデータが得られた。この結果は，大規模な海溝型地震における地震後の余効変動や上部マンツルの粘性緩和（Hu *et al.*, 2004）といった現象を定量的に考察する上で重要なデータとなる。

本地域の調査は2005年も引き続き実施する予定であり，残された課題について調査，検討を進めていくことになる。

**謝辞** 本調査にあたり，Chuyaquenの牧場およびChamizaの露頭の地権者の方々には調査用地の使用を許可していただきました。また聞き取り調査においては，数多くの方々にご協力いただきました。記して謝意を表します。

## 文 献

- Atwater, B.F., Jiménez, N.H. and Vita-Finzi, C. (1992) Net late Holocene emergence despite earthquake-induced submergence, south-central Chile. *Quaternary Inter.*, **15/16**, 77-85.
- Barrientos, S. E., Plafker, G. and Lorca, E. (1992) Postseismic coastal uplift in southern Chile. *Geophys. Res. Lett.*, **19**, 701-704.
- Chiyama, T. (1961) 1960年チリ地震津波に関する論文及び報告，丸善，東京，397pp.
- Cifuentes, I.L. (1989) The 1960 Chilean earthquake. *J. Geophys. Res.*, **94**, 665-680.
- Eaton, J.P., Richter, D.H. and Ault, W.U. (1961) The tsunami of May 23, 1960, on the island of Hawaii, *Bull. Seism. Soc. Am.* **51**, 135-157.
- Hu, Y., Wang, K., He, J., Klotz, J. and Khazaradze, G. (2004) Three-dimensional viscoelastic finite element model for post-seismic deformation of the great 1960 Chile earthquake. *J. Geophys. Res.*, *in press*.
- 鎌滝孝信・澤井祐紀・宍倉正展・佐竹健治・山口正秋・松本 弾 (2004) 潮間帯における津波堆積物の分布様式：北海道東部，藻散布沼を例として。日本地質学会第111年学術大会講演要旨。
- Kaizuka, S., Matsuda, T., Nogami, M. and Yonekura, N. (1973) Quaternary tectonic and recent seismic crustal movements in the Arauco Peninsula and its environs, Central Chile. *Geogr. Rep. Tokyo Metropolitan Univ.*, **8**, 1-49.
- Kanamori, H. (1977) The energy release in great earthquakes. *J. Geophys. Res.* **82**, 2981-2987.
- Lomnitz, C. (2004) Major earthquakes of Chile: a historical survey, 1535-1960, *Seism. Res. Lett.*, **59**, 938-960.
- Melbourne, T. I., Webb, F. H., Stock, J. M. and Reigber, C. (2002) Rapid postseismic transients in subduction zones from continuous GPS. *J. Geophys. Res.* **107**, 2981-2987.
- Nanayama, F., Satake, K., Furukawa, R., Shimokawa, K., Shigeno, K., Atwater, B.F. (2003) Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril Trench. *Nature*, **424**, 660 - 663.
- Nelson, A. and W. Manley (1992) Holocene coseismic and aseismic uplift of Isla Mocha, South Central Chile. *Quaternary Inter.*, **15/16**, 61-76.
- Plafker, G. and Savage, J. C. (1970) Mechanism of the Chilean earthquakes of May 21 and 22, 1960. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **81**, 1001-1030.
- Youlton, C., Atwater, B. and Cisternas, M. (2003) Westward decrease in postseismic uplift in region of the 1960 Chile earthquake. *Abstract of 2003 Annual Meeting, Geol. Soc. Am.*

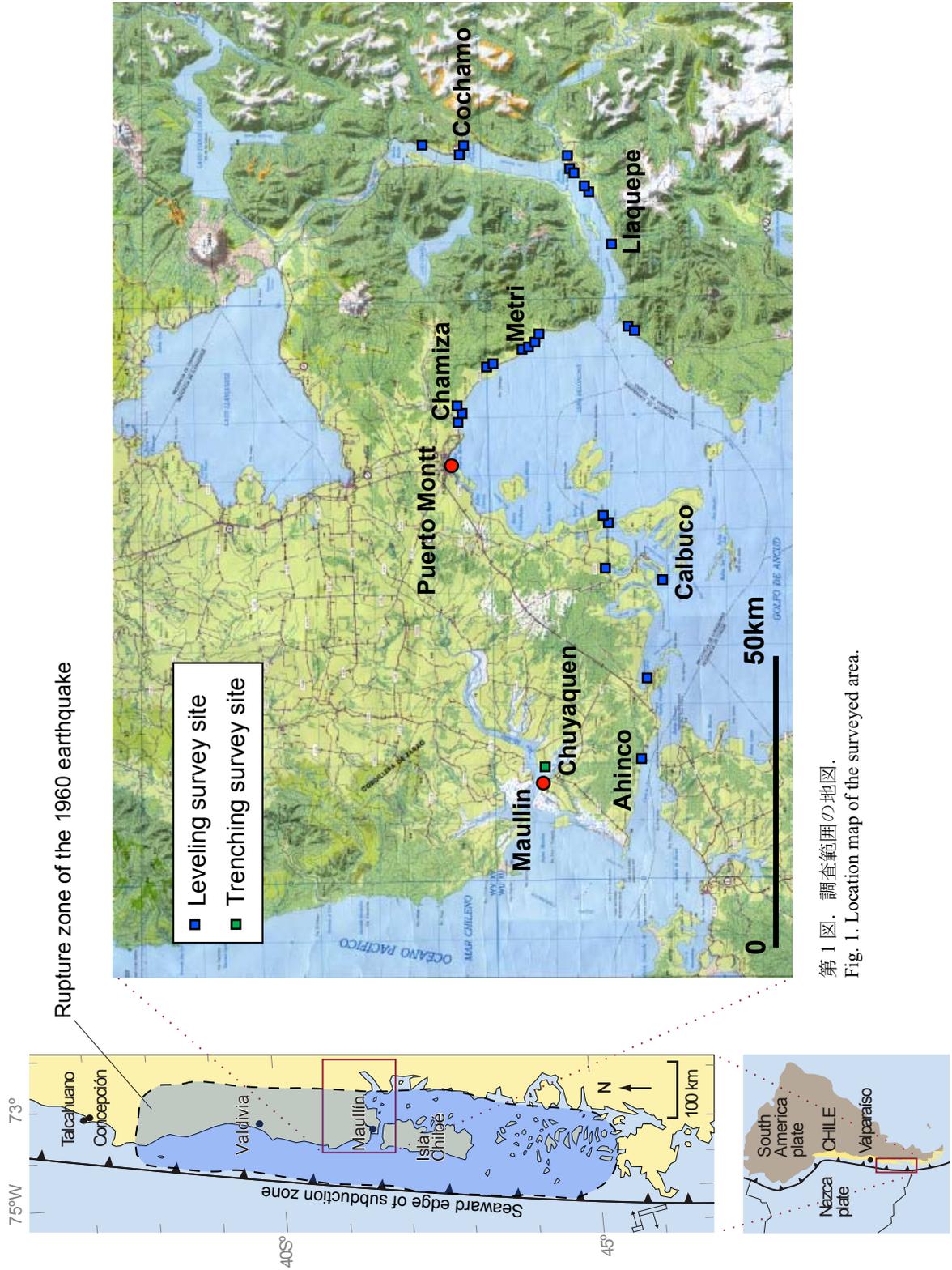
(受付：2004年9月14日，受理：2004年10月14日)

第1表. Chuyaquenにおける<sup>14</sup>C年代測定結果.  
 Table 1. Radiocarbon dating results in Chuyaquen.

Sample No.	Soil name	Stratigraphic position	Material	<sup>14</sup> C age	δ <sup>13</sup> C	cal 2 sigma (AD)	Lab. code
1		? cm below top of soil	Charcoal	390±40	-25.7	1450-1640	Beta-179374
2	Juan Vera	2 cm below top of soil	Charcoal	400±40	-23.9	1450-1630	Beta-179376
3		? cm below top of soil	Charcoal	440±40	-26.1	1430-1630	Beta-179373
4		1 cm below top of soil	Charcoal	470±40	-26.8	1410-1630	Beta-179375
5	Genaro	Rooted in soil and surrounded by sand	Juncus procerus culm bases	990±40	-26.0	1020-1190	Beta-179372
6	(Below Genaro)	6-7 cm below the soil top and 2 cm above the underlying sand	Spartina densiflora rhizomes	1450±40	-14.2	540-690	Beta-179377

 第2表. Chamizaにおける<sup>14</sup>C年代測定結果.  
 Table 2. Radiocarbon dating results in Chamiza.

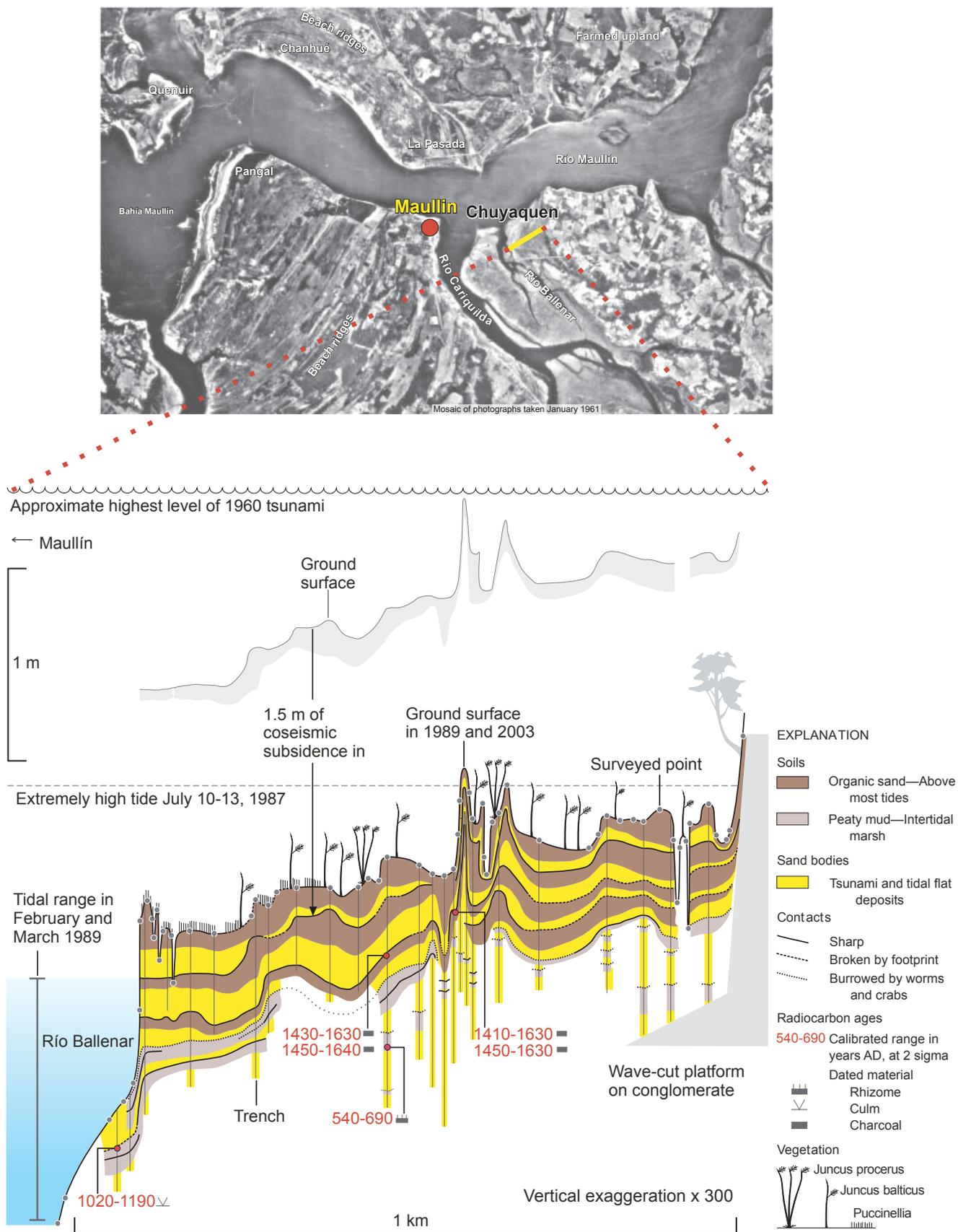
Sample No.	location	position	Material	<sup>14</sup> C age	cal 2 sigma (AD)	Lab. code
(1)			plant material	230±40	1530-1550 1630-1680 1740-1810 1930-1950	Beta-189957
(2)		Peat A	plant material	200±40	1640-1690 1730-1810 1920-1950	Beta-190195
(3)			plant material	300±50	1460-1670	Beta-190196
(4)	salt marsh	Peat B	plant material	190±50	1640-1890 1910-1950	Beta-189958
(5)			plant material	170±40	1650-1890 1910-1950	Beta-190197
(6)		above sand sheet	plant material	320±40	1460-1660	Beta-189960
(7)		Peat D	plant material	370±40	1440-1640	Beta-190194
(8)			plant material	440±40	1420-1500	Beta-189961
(9)	terrace	soil	plant material	320±40	1460-1660	Beta-189960



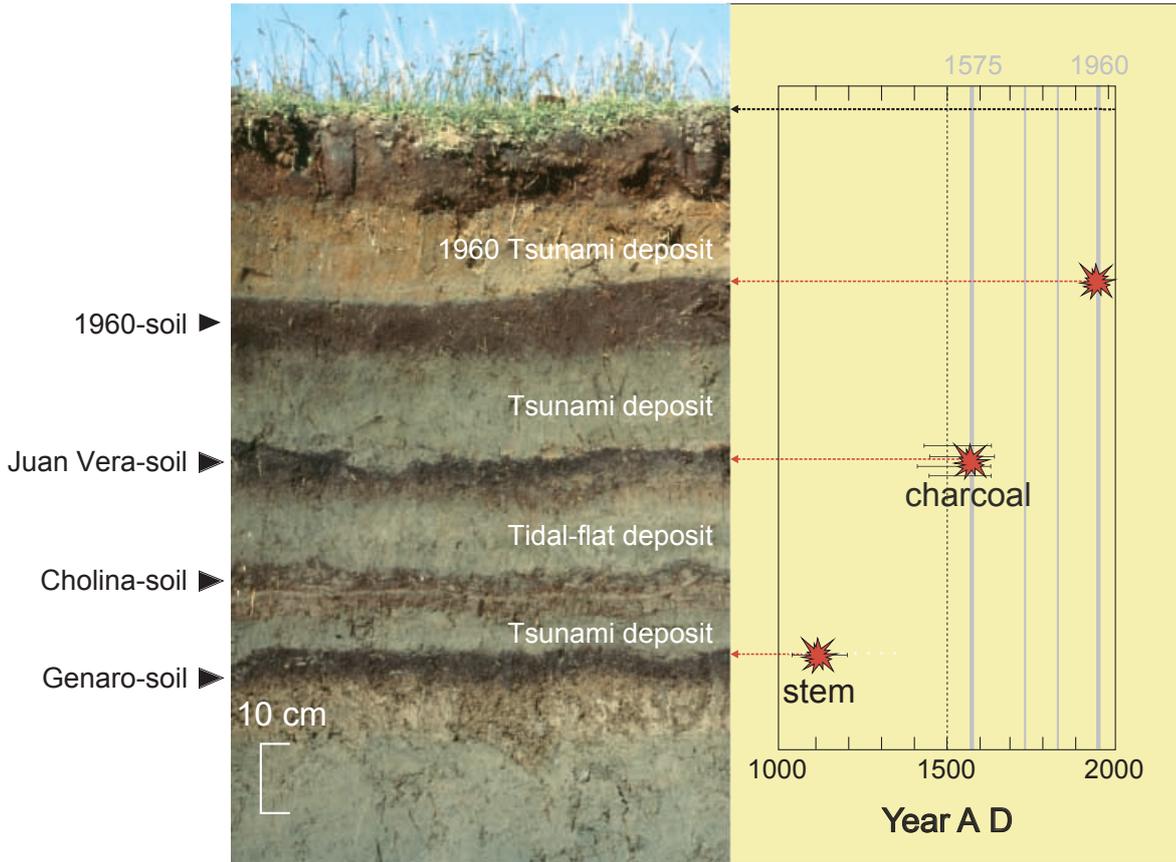
第 1 図. 調査範囲の地図.  
Fig. 1. Location map of the surveyed area.



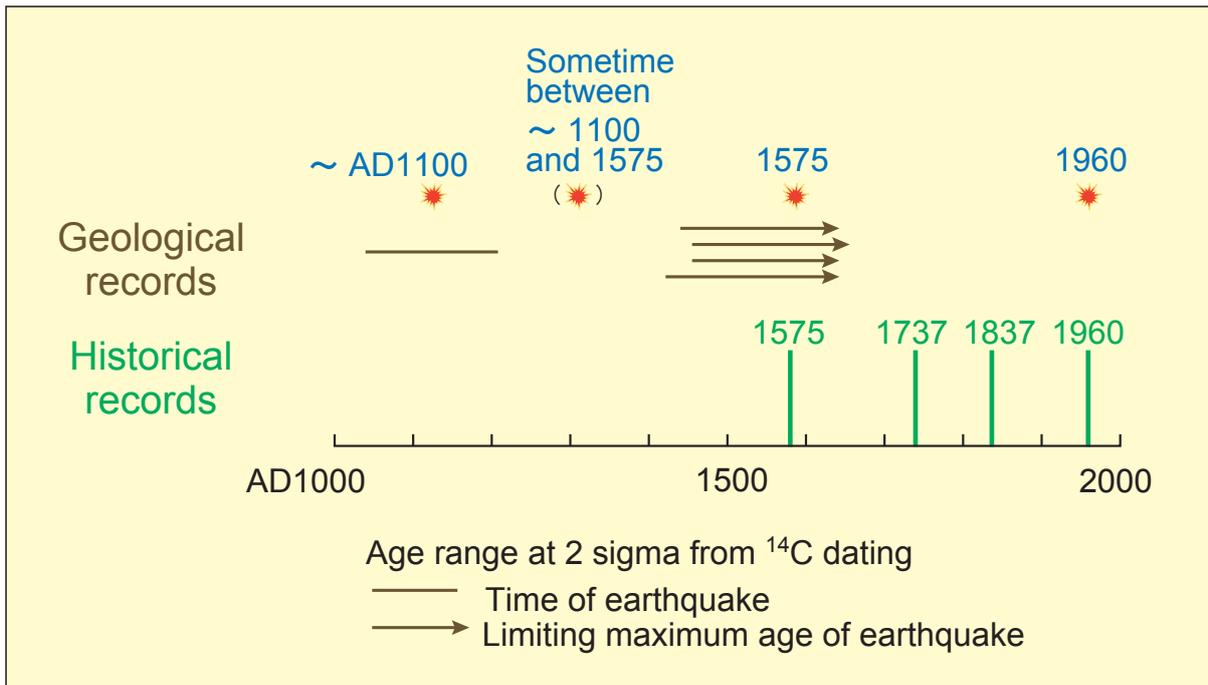
第2図. Chuyaquenにおけるトレンチ調査風景.  
Fig. 2. Photo of the trenching survey in Chuyaquen.



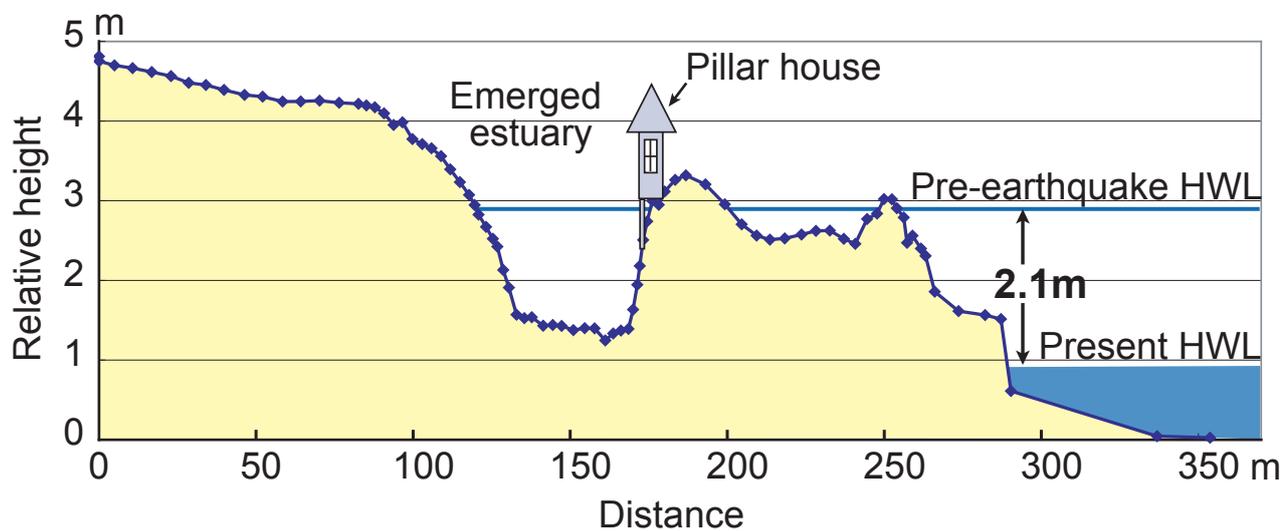
第3図. Chuyaquen 周辺の空中写真と地形・地質断面図。  
 Fig. 3. Aerial photo, and geologic and topographic profile in Chiuyaquen.



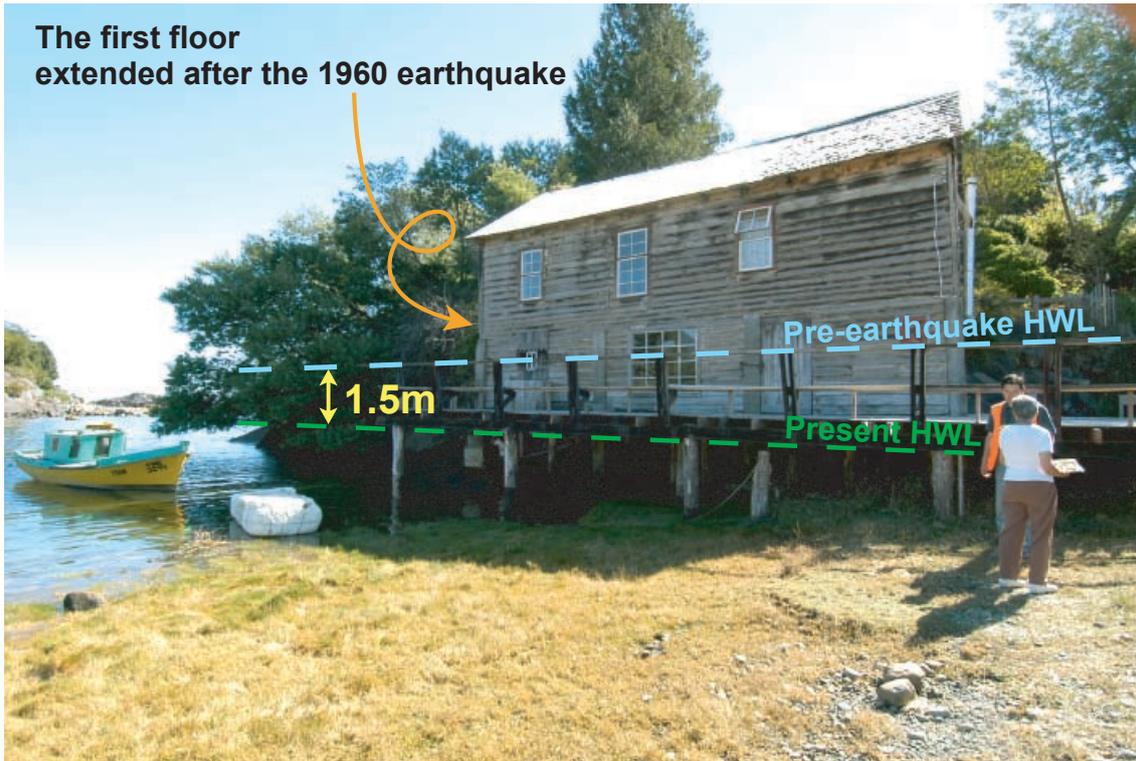
第4図. トレンチで観察される4枚の砂層と土壌および年代.  
 Fig. 4. Four sand and soil layers observed in the trench in Chuyaquen and their ages.



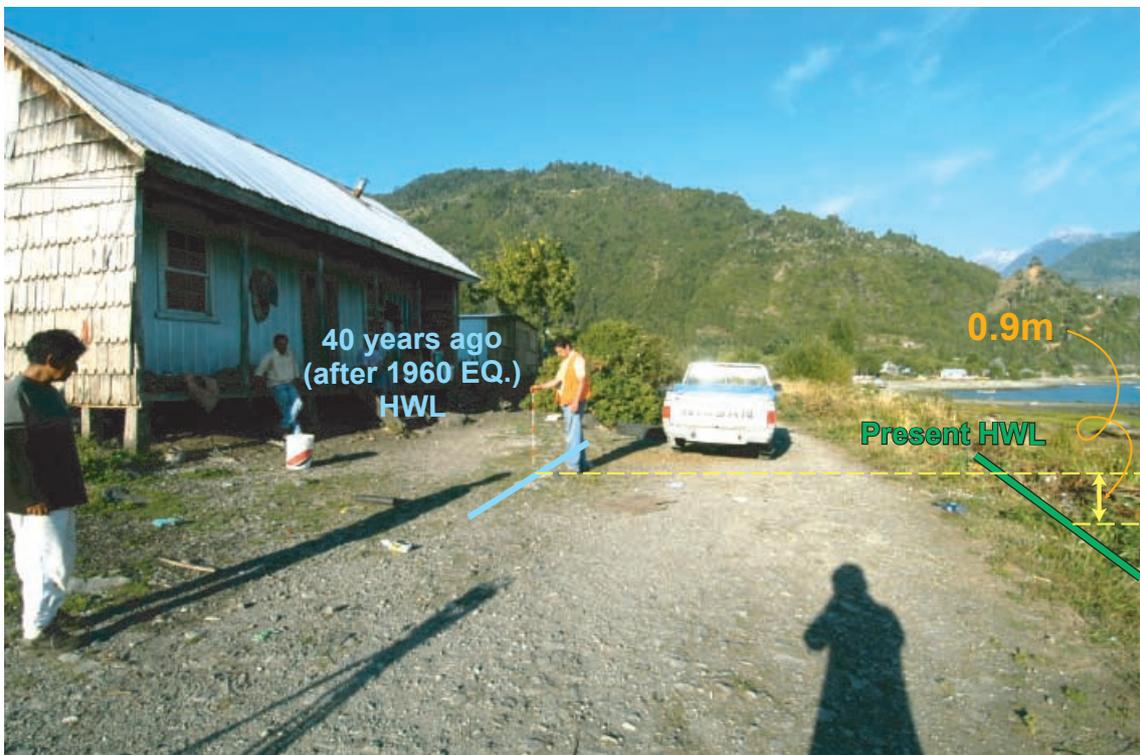
第5図. 歴史地震とトレンチから明らかになったイベントの年代の比較.  
 Fig. 5. Comparison between the ages of historical earthquakes and geologic events.



第 6 図. Chamiza におけるピラーハウスとその周辺の地形断面.  
Fig. 6. Pillar house and topographic profile around the house in Chamiza.



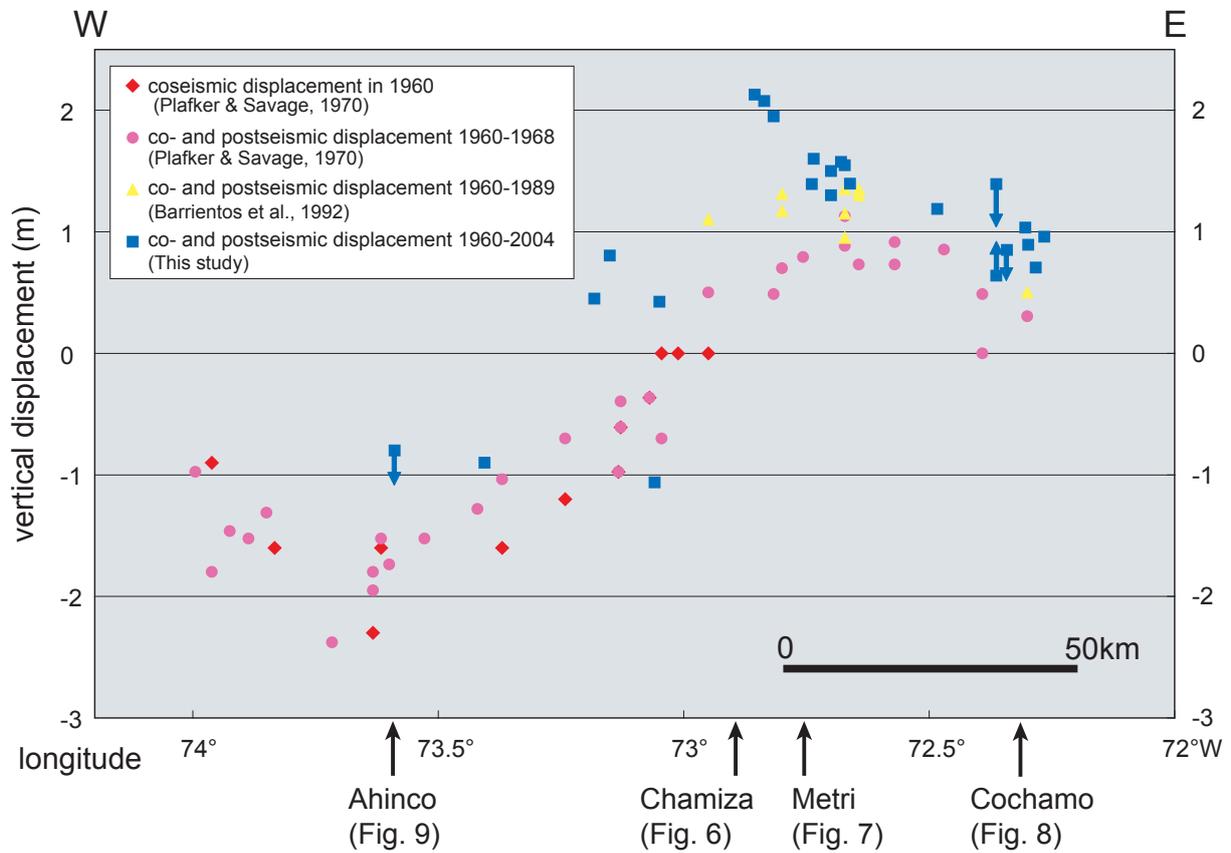
第7図. Metriにおけるピラーハウスと汀線変化.  
Fig. 7. Pillar house and shoreline change in Metri.



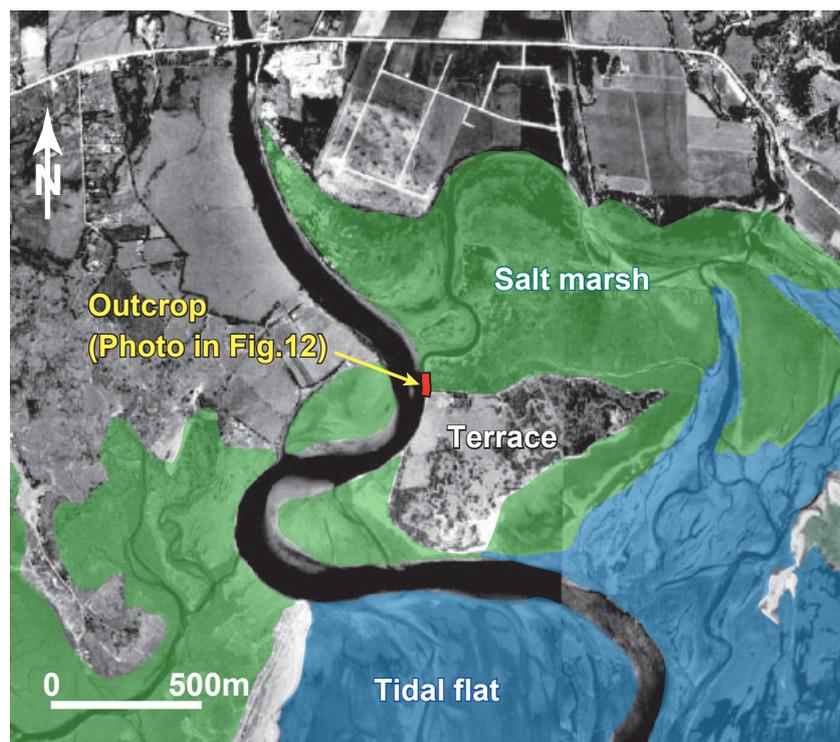
第8図. Cochamoにおける汀線変化.  
Fig. 8. Shoreline change in Cochamo.



第 9 図. Ahinco における立ち枯れ木と汀線変化.  
Fig. 9. Dead forest and shoreline change in Ahinco.



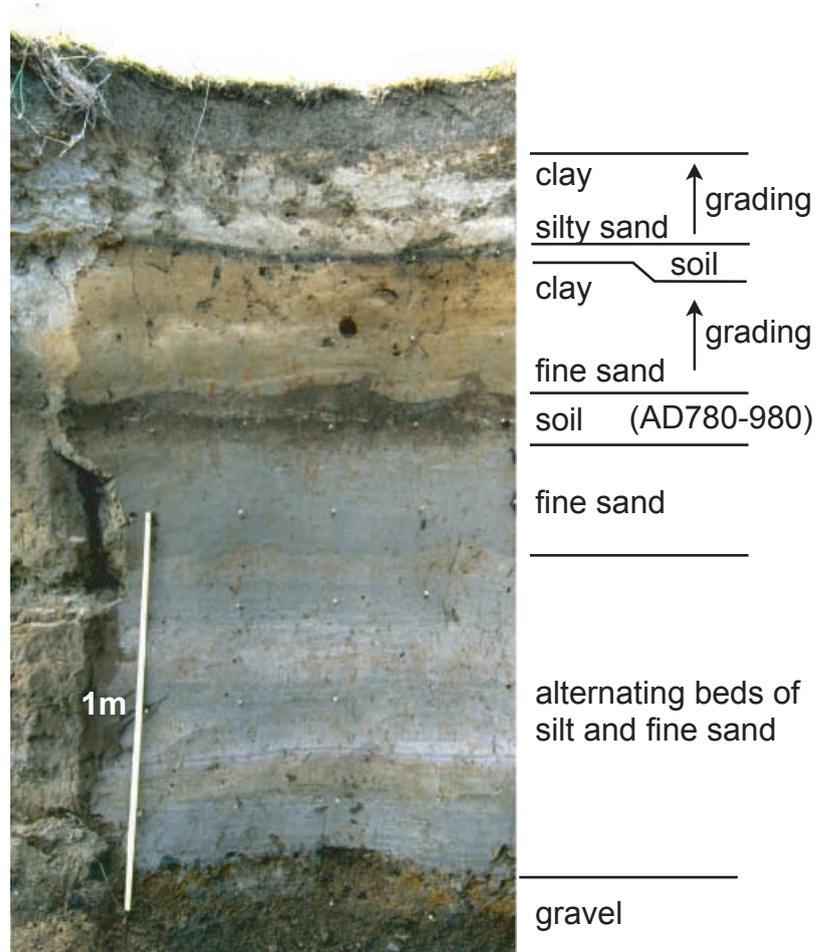
第 10 図. チリ中南部における 1960 チリ地震時およびそれ以降の地殻上下変動.  
Fig. 10. Vertical crustal movement during and after the 1960 Chilean earthquake in South-central Chile.



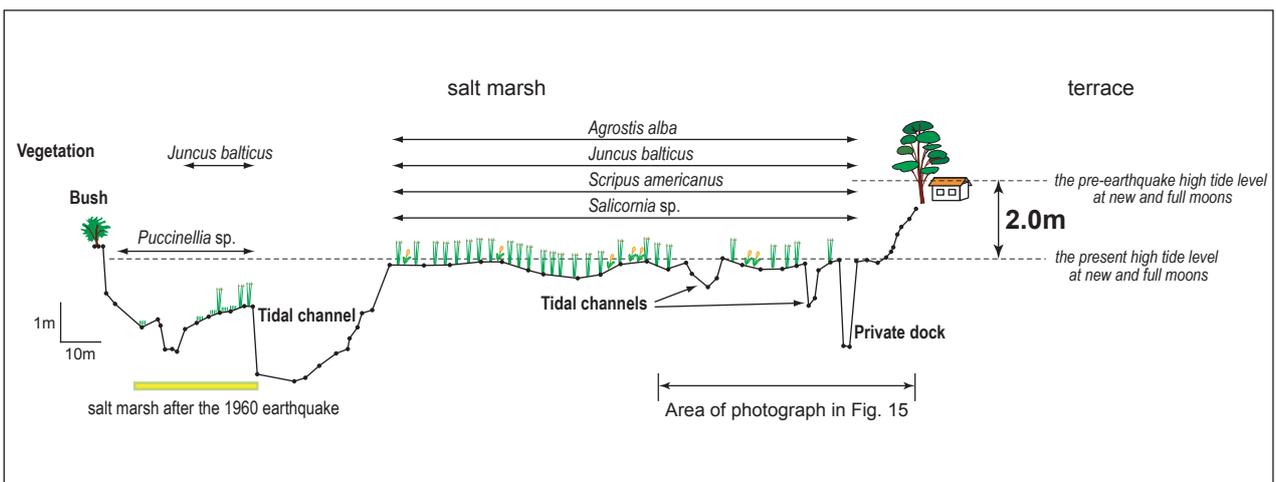
第 11 図. Chamiza 周辺の空中写真と地形分類.  
Fig. 11. Aerial photo and classification of topographic feature around Chamiza.



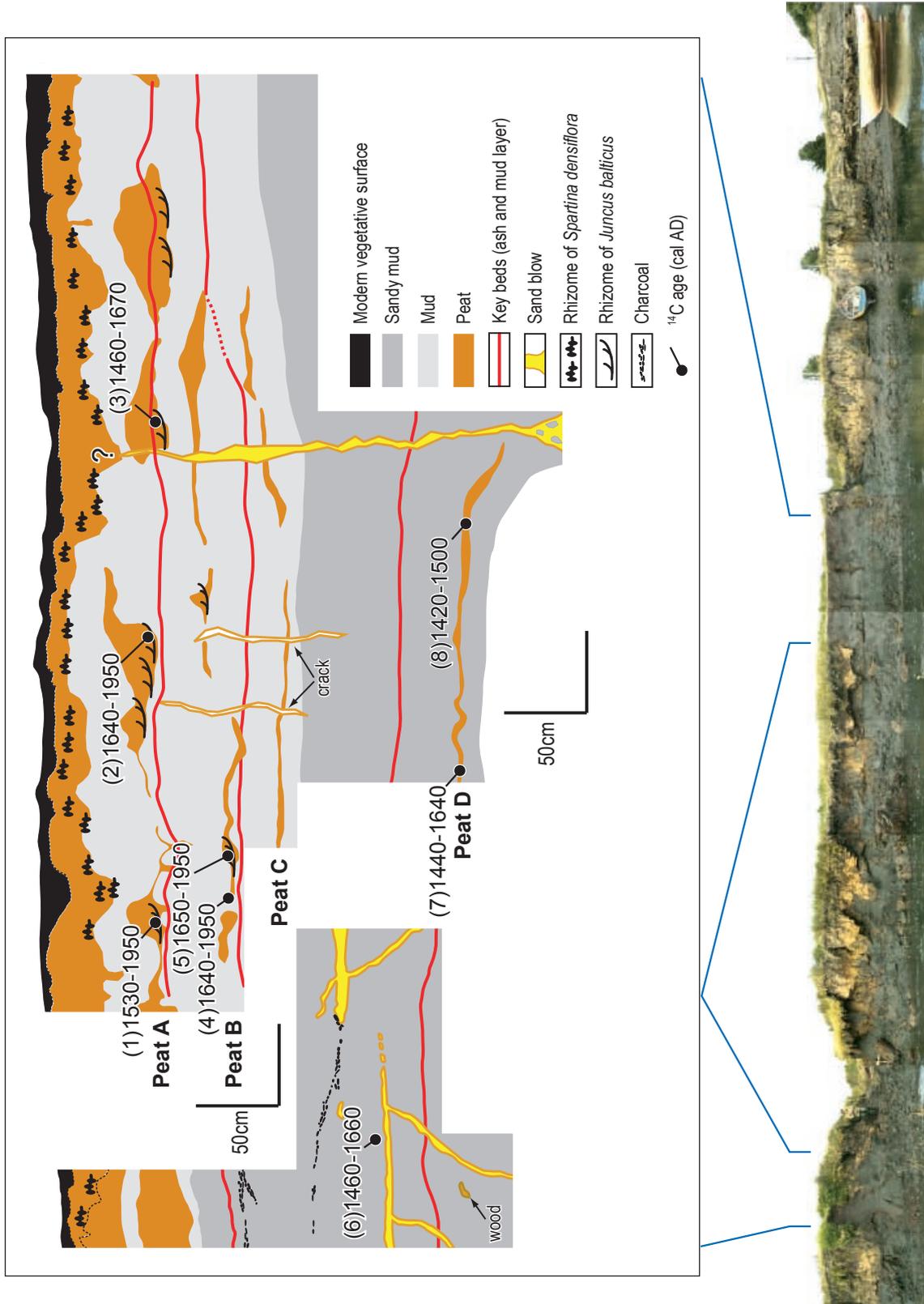
第 12 図. Chamiza における露頭の全景写真.  
Fig. 12. Photo of the outcrop in Chamiza.



第 13 図. Chamiza における段丘の層序.  
Fig. 13. Stratigraphy of the terrace in Chamiza.



第 14 図. Chamiza における露頭周辺の地形断面と植生.  
Fig. 14. Topographic profile and vegetation around Chamiza.



第15図. Chamiza における露頭の写真とスケッチ。  
 Fig. 15. Photo and sketch of the outcrop in Chamiza.