オレゴン州サウススルーの沖積低地の掘削調査に基づく 完新世後期の古地震の復元

太田陽子* Nelson, A. R.** 海津正倫***
鹿島薫**** 松島義章*****

Interpreting an Earthquake History from the Stratigraphy of
Late Holocene Intertidal Deposits in South Slough,
Coos Bay, Oregon, USA

Yoko OTA*, Alan R. NELSON**, Masatomo UMITSU***,
Kaoru KASHIMA**** and Yoshiaki MATSUSHIMA*****

Abstract

A partial history of large earthquakes can be inferred from the stratigraphy, radiocarbon ages, fossil diatom assemblages, and FeS_2 -S contents of late Holocene intertidal sediments beneath South Slough, a narrow, protected arm of the Coos Bay estuary on the central Oregon coast. A total of 51 25-mm-diameter gouge cores collected to 2-7 m depth showed sequences of interbedded peaty and muddy sediments beneath fringing marshes at ten small inlets around South Slough. Radiocarbon, diatom, and FeS_2 -S samples were obtained from two additional 70-mm-diameter cores at the Talbot Creek and Middle Creek sites. As many as nine peaty horizons, most interpreted to be former marsh soils, were encountered at some sites. Many of the buried soils have abrupt to sharp upper contacts with overlying mud suggesting that upper intertidal marsh soils were suddenly lowered into the lower part of the intertidal zone. In contrast, the gradual lower contacts of the peaty soils suggest gradual shoaling from a mud flat to the higher parts of a marsh. Repeated times of very rapid submergence inferred from the abrupt lithologic changes in the cores is supported by our interpretations of changes in diatom assemblages and FeS_2 -S contents in the two large-diameter cores. Peaty soils contain diatom assemblages of Group III, dominated by fresh to brackish species, whereas muddy sediments contain assemblages of Groups I (marine species) or II (brackish species). FeS_2 -S

* 専修大学文学部地理学教室

** アメリカ合衆国地質調査所

*** 名古屋大学文学部地理学教室

**** 九州大学理学部地球惑星科学教室

***** 神奈川県立博物館

* Geography Department, Senshu University

** Branch of Earthquake and Landslide Hazards, US Geological Survey

*** Department of Geography, Nagoya University

**** Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

***** Kanagawa Prefectural Museum

contents increase abruptly across the upper contact of peaty soils, also indicating a sudden change to a more strongly marine environment. Accelerator mass spectrometer radiocarbon dating indicates times of sudden submergence at about 0.4, 1.0, 1.3, 1.7, and 2.5 ka.

South Slough lies near the distal part of the active fold and thrust belt of the North America plate, about 75 km east of the inferred trace of the plate-boundary thrust of the Cascadia subduction zone. Pleistocene marine terraces near the slough record deformation on northwest-trending folds and flexure-slip and high-angle faults due to crustal shortening in the overriding North America plate. Thus, the repeated sudden submergence inferred from the sediments of the slough may record localized subsidence during shallow earthquakes on local structures in the overriding plate. However, given its distance arcward of the trace of the Cascadia thrust, South Slough may also fall within the western part of regional zones of coseismic subsidence during great plate-boundary earthquakes. If so, the interbedded peat and mud stratigraphy probably records a partial history of great subduction-zone earthquakes. Because many localized deformation events may be coincident with plate-boundary earthquakes, distinguishing local from regional coseismic subsidence is difficult at South Slough.

I. はじめに

本研究は、アメリカ合衆国オレゴン州最大の入江、サウススルー (South Slough) の沿岸に発達する沖積低地の掘削調査によって得られたコアの分析から、完新世における相対的海水準変化の歴史を明らかにし、それを地震性地殻変動との関連で解釈しようとするものである。ファンデフカプレートの沈み込みに伴う巨大地震によって海岸地域が不連続的に沈降したことは、Atwater (1987) の先駆的研究以来多くの研究者によって注目され、研究が蓄積されつつある (たとえば、Darienzo and Peterson, 1990 ; Atwater and Yamaguchi, 1991 ; Atwater, 1992)。

地震に伴う沈降の可能性は、サウススルーの入江でも想定されていくつかの研究が進行している。たとえば、Nelson (1992a, b), Nelson and Kashima (1993) は、サウススルー南部のウィンチェスタークリークにおいて掘削調査による層相観察と珪藻分析に基づき、ほぼ4,000 yr BP以降9回の地震に由来する不連続的沈降を推定した。

筆者らは、これらの研究をより面的に拡大し、地震性沈降の存在と時期を検討するために、1990年8月から9月にかけてサウススルー地域の調査を行なった。

研究地域の位置とそのテクトニックセッティングを図1に示す。サウススルーは南北約8 kmの入江で、東西の幅は約1 km、沈み込み境界の東方に位置する。入江自体は第三系を変位させる向斜軸上 (McInelly and Kelsey, 1990) にあり、この向斜構造の成長とサウススルーの形成は密接に関連している。一方、本地域の南のアラゴ岬やさらに南方のブロンコ岬にはみごとな海成段丘群が発達しており、顕著な傾動隆起で特色づけられる (McInelly and Kelsey, 1990 ; Kelsey, 1990)。

筆者らは、サウススルー地域において空中写真 (縮尺約1 : 12,000) 判読による地形分類を行ない、調査地点を選定した (図2)。調査地点はいずれも植生に覆われた低湿地で (写真1)、高潮位にも海水に覆われることはない。周辺からの土砂の供給の影響を避けるため、比較的大きい8つの支谷に沿った低湿地を選び、ピートコアラーを用いてできるだけ多くの地点 (計51) で、かつできるだけ深くまでの掘削を行なった。得られた試料の断面を野外で観察・記載して柱状図を作成した。その際、埋没泥炭層の認定とその上・下限の状態、とくに上限の明確さに注目し、年代測定用試料を採取した。さらに、埋没泥炭層の明瞭な2地点 (TC-1, MC-1) で、塩ビチューブを埋め込んで大口径 (径約7 cm) のコアを掘削し (写

図 1 調査地域の位置とテクトニックセッティング (McInelly and Kelsey, 1990による)

Fig. 1 Map showing tectonic setting of the Cascadia subduction zone in western North America and location of the study area

Tectonic setting is after McInelly and Kelsey (1990).

PP: Pacific plate, JEP: Juan de Fuca plate, NAP: North America plate, MFZ: Mendocino fracture zone, BC: British Columbia, WA: Washington, OR: Oregon, CA: California

真 2: TC-1 B, MC-1 B), 層相をより詳しく観察・記載するとともに, 年代測定, 珪藻分析および硫黄含有量測定のための試料を採取した。 ^{14}C 年代測定はアメリカ合衆国の Geochron Inc. に依頼した。 ^{14}C 年代はいずれも加速器によるもので, 年代計算のための半減期は5,568年, 標準偏差はシグマ1である。

II. 層相と年代

まず, 比較的明瞭な断面が多く得られたバークズクリーク, ミドルクリークおよびブロッククリーク (図3, 4) とタルボットクリーク (図5, 6) 地域について述べる。

図 2 サウススルー周辺の地形分類図と調査地点
1. 丘陵および段丘 (等高線間隔は40ft ごと, 1/24,000, Charleston 図幅による), 2. 完新世低湿地, 3. 水域と滞すじ, 4. 今回の調査地点, 5. Nelson (1992a) による調査地点

Fig. 2 Map showing geomorphology and sampling locations around South Slough, Coos Bay, Oregon

1. hills and terraces (contour interval is 40 ft., after 1: 24,000, Charleston topographic sheet), 2. Holocene marsh, 3. water area and channel, 4. sites of this study, 5. sites by Nelson (1992a)

写真 1 サウススルーの風景

Photo 1 View of small inlet around South Slough

写真 2 大口径のコアの掘削風景

Photo 2 Collecting large diameter core at Talbot Creek

- 1) バーブズクリーク (Barb's Creek, BR),
ミドルクリーク (Middle Creek, MC) および
ブロッククリーク (Block Creek, BC)

バーブズクリークでは北部の谷壁に近い4地点 (BR-3~6) で、ミドルクリークでは谷奥 (MC-1, MC-2) で掘削をした (図3, 4)。

MC-1 (図4-a) では、地表から-2.3m (以下ではすべて地表下の深度を意味する) までおもにシルトからなり、その中に3層 (上位からA, B, C) の埋没泥炭層がある。泥炭層の厚さは約30~50cm で、黒褐色を呈し、多量の未分解の植物片を含んでいる。それらの中 A, C の上面はきわめて明瞭な境界をなし、それらの上位の泥層と明瞭な不連続をもつが、B では不連続性は明瞭ではな

図3 バーブズクリーク (BR), ミドルクリーク (MC) およびブロッククリーク (BC) 地域の地形と掘削地点

Fig. 3 Map of Barbs Creek (BR), Middle Creek (MC) and Block Creek (BC) areas with core locations

い。 ^{14}C 年代はAで 869 ± 94 yr BP (GX-17576), Bで 975 ± 88 yr BP (GX-17475) である。本地点での大口径の掘削による試料の分析結果は後述する。MC-1に近いMC-2での掘削深度は3.3m, -0.5mにMC-1のAに相当する明瞭な埋没泥炭層, -0.85mにB, -1.8mにCに相当する不明瞭な埋没泥炭層があり、さらに-2.6mにも同様な泥炭層が存在する。

図 4 パープズクリーク、ミドルクリークおよびブロッククリークの掘削結果と ^{14}C 年代
a: パープズクリーク、ミドルクリーク、b: ブロッククリーク北部、c: ブロッククリーク南部
1. 現成および埋没泥炭, 2. 泥, 3. 砂, 4. 木片, 5. 炭, 6. 貝 (凡例は図 6, 7 に共通)。

Fig. 4 Columnar sections and radiocarbon ages at Barbs Creek and Middle Creek (a), northern part of Block Creek (b) and southern part of Block Creek (c) areas
1. modern and buried peat, 2. mud, 3. sand, 4. wood, 5. charcoal, 6. shell

図5 タルボットクリーク沿岸の地形と掘削地点
Fig. 5 Map of the Talbot Creek area with core locations

BR-3～6 (図4-a) では地表から-0.5～-0.6 mの深度に上面のはっきりした埋没泥炭層(A)がある。BR-6ではほぼ-2 mの深度にも明瞭な埋没泥炭層(C), -3 m, -3.5 mの深度にもやや不明瞭な埋没泥炭層(D)(E)があるが、側方への連続はよくない。BR-4では-5.2 mまで掘削できた。ここでは一般に泥層からなるが時に砂の薄層をはさむ。泥層中に内湾性の両殻の揃った現地性貝化石(*Macoma* sp., *Mytilus* sp. など)を含み、シルト層が内湾の海域に堆積したことを示す。貝化石はBR-3, BR-5でも見出される。

ブロッククリークでは南部の谷を横切る測線でBC-2～BC-7, 北部の谷ではBC-8～BC-16の15地点で掘削した(図3, 図4-b, c)。谷底に近い南部の測線では、部分的に薄い砂層を含むが全般的にはシルト層が卓越し、その中に5層の埋没泥炭層がある。この中、最上位の-0.5～-0.7 mにみられるA, および-1.7～-1.9 mにみられるBの上限は明瞭で比較的連続性がよいが、そのほかは不連続である。BC-2のEから得られた¹⁴C年代は、 $4,280 \pm 80$ yr BPで、今回得られた最古の年代を示す。北部の測線でも同様の結果が得られ、埋没泥炭層AおよびCの連続性がよい。

2) タルボットクリーク (Talbot Creek, TC)

今回の調査地点の中でもっとも内陸に位置するタルボットクリークでは、2測線で計11地点を掘

削した(最深掘削深度は6.3 m: 図5, 6)。TC-1での大口径の掘削による試料の分析結果は後述する。TC-1では卓越する泥層の中に6層の明瞭な埋没泥炭層がある。これらは下位の泥層とは漸移するが、上面は不規則かつはっきりした境界をもっている。そのほかに、やや不明瞭な泥炭層がある。これらを上位からA(上限は-0.5 m), B(-0.8 m), C(-1.15 m), D(-1.75 m), E(-2.25 m), F(-2.9 m)およびG(-3.5 m)と呼ぶ。AおよびC, D, E, Fは連続がよく、測線2でも明瞭に追跡できる。¹⁴C年代は、Fで $2,750 \pm 66$ yr BP (GX-16275), Eで $2,487 \pm 35$ yr BP (4試料の年代平均値), Dで $1,717 \pm 92$ yr BP (3試料の年代平均値), Cで $1,249 \pm 89$ yr BP (GX-16276)と上位に向かって若くなる。現在, A, Bからは年代が得られていないが、これらと似た層準のMC-1のA, Bの年代がそれぞれ 369 ± 94 yr BP, 975 ± 88 yr BPであるので、ほぼこれらの年代に近いとみてよい。

3) そのほかの地点

以下の地点では掘削によって堆積物の層相と埋没泥炭層の有無を調べた。年代測定や珪藻分析は行っていないので、地形の詳細図や柱状図の大部分はのせずに、おもな結果のみを北から順に記載する(図7)。

シャナクリーク (Shana Creek, SH) では、SH-1～SH-3の3地点(最大掘削深度2.2 m)で、-0.5～-0.7 mに厚さ約0.2 mの埋没泥炭層が確認できた。-2 mでは砂質シルトの中に貝化石(*Mytilus* sp. 内湾潮間帯にすむ)が含まれている。

ワーノッククリーク (Warnock Creek, WR) ではWR-1～WR-3の3地点を掘削した。WR-2では-0.5 mおよび-1 m, -1.5 mに埋没泥炭層があるが、上限がやや漸移的で、また連続性もよくない。

サレンズクリーク (Sullen's Creek, SK) ではSK-1～SK-3で掘削した。SK-2では、上限深度-0.6 mの上限がきわめて明瞭な埋没泥炭層がある。-2 mまでにはこれ以外の埋没泥炭層はない。

図 6 タルボットクリーク地域の掘削結果と ^{14}C 年代
a: 北部, b: 南部

^{14}C 年代につけたアステリスクは複数試料の年代平均値であることを示す。

Fig. 6 Columnar sections with radiocarbon ages (in ^{14}C years BP) at Talbot Creek area
a: north, b: south

Radiocarbon ages with asterisk indicate the average age of 3-4 samples.

ストーンクリーク (Stone Creek, SC) では、本流の谷頭に近い湿地で SC-1～SC-4 の4地点、北東の支谷で SC-5～SC-7 の3地点を掘削した。どの地点でも泥層中に -0.4～-0.7 m

の深度をもつ明瞭な埋没泥炭層が見出される。もっとも深い掘削地点 (SC-6, -5 m まで掘削) では、-2.5～-2.8 m にも埋没泥炭層があるが、連続性はよくない。また、SC-5 では-1.2 m 以

図 7 その他の地点での代表的柱状図
位置は図 2 参照。

Fig. 7 Columnar sections from other areas
See Fig. 2 for the location.

下の泥層中に内湾潮間帯にすむ *Tellina* sp. の化石が含まれており、泥層が海成層であることが明らかである。

ジョン B クリーク (John B Creek, JB) では JB-1 ~ JB-3 の 3 地点の掘削 (最大深度 6 m) で、-0.6 m を上限とする明瞭な埋没泥炭層が確認できた。JB-3 では、一般に砂質の堆積物が卓越する。数層準に泥炭層があるがいずれも上限・下限ともに漸移的で、かつての地表を示す埋没泥炭層とは認定しがたい。

III. 珪藻分析および硫黄量の測定結果

2 地点 (MC-1 B, TC-1 B) での大口径のコア (写真 3) からの試料の分析結果を以下に示す。なお、大口径のコアの採取では力がかかるために、コア長が同地点で行なったピートコアラーによるコアと比べて短く圧縮されており、図 8, 9 で示すコアと図 4, 6 で示したコアとは長さは異なるが、それぞれ同層準の埋没泥炭層が確認されている。

1) 珪藻分析——珪藻群集の分類

Nelson and Kashima (1993) はサウススルーおよびその周辺の 4 地域の塩性湿原において、珪藻群集の分布形態と堆積過程の調査を行なった。

写真 3 TC-1B の大口径コアの断面

Photo 3 Section of large diameter core at TC-1B showing an abrupt contact at the top of a buried peat and a gradual contact with underlying silt at the bottom

その結果、中潮位～高潮位付近において、湿原表層の珪藻遺骸群集が 30～50 cm 程度の高度変化に対応して、明瞭な分帯を形成することが明らかとなった。一般に表層遺骸群集は、そこに生息する現生群集と他より運ばれてくる異地性遺骸群集の混合よりなるが、サウススルー地域で上記のような分帯が明瞭なのは、流入する大きな河川がなく、異地性遺骸の流入の影響が小さかったためと解釈された。表層遺骸群集において海水準に対応した顕著な分帯が生じたことは、堆積物中の化石群集から海水準の微変動を復元する可能性を大きくさせる。

以上の結果に基づき、上述のコアから得られた珪藻のうち、とくに出現頻度の大きい 9 種を次の 3 群の珪藻種群に区分した。

I 群 (*Paralia sulcata*, *Cocconeis scutellum*, *Achnanthes hauckiana*): 塩性湿原のもっとも低位の泥質部に多く産出するもので、干潮時には干上がるような環境に分布する。

II 群 (*Nitzschia inconspicua*, *Nitzschia tryblionella*, *Navicula cryptocephala*, *Rhopalodia gibberula*): これらは、泥質部よりは 40～50 cm 前後高いが、高潮位よりわずかに低く、満潮時には冠水する環境下で分布する。

図 8 ミドルクリーク MC-1 B 地点の珪藻分析結果
Fig. 8 Percentages of selected diatom species in core MC-1 B, Middle Creek area

Ⅲ群 (*Navicula mutica*, *Navicula pusilla*, *Pinnularia borealis*): おもに高潮位よりも上方の湿った土壤中から産出する。このうち *Navicula mutica* は高潮位よりも高度の低い塩性湿原からも産出するが、後者の2種 (*Navicula pusilla* と *Pinnularia borealis*) は高潮位よりも上位にのみ分布する。

2) MC-1B での珪藻分析結果 (図8)

−0.04 m から −2.37 m まで 2 ~ 5 cm 間隔で分析を行なった。このうち、下半部 (−0.95 m 以深) ではⅠ群の *Paralia sulcata* が優占し、他の珪藻はほとんど産出しない。3層の埋没泥炭層 (C, D, E) が −1.35 m 以深に存在するが、珪藻

群集には反映されていない。−0.95 m より上位では次のような珪藻群集の変化がみられた。

−0.95 ~ −0.50 m : Ⅰ群に属する *Paralia sulcata*, *Achnanthes hauckiana* に加えて、Ⅱ群の *Nitzschia inconspicua* や *Navicula cryptocephala* が産出する。

−0.50 ~ −0.40 m : 埋没泥炭層Aから、Ⅲ群にあたる *Navicula pusilla* が多く産出する。

−0.40 ~ −0.28 m : Ⅰ群の *Achnanthes hauckiana* が多く産出する。これは埋没泥炭層Aの直上の層準で堆積環境が急変し、相対的な海水準高度が少なくとも0.5 m 以上は低下したことを示している。BR-1 地点ではこのような珪

図 9 タルボットクリーク TC-1B 地点の珪藻分析および硫黄含有量分析結果
Fig. 9 Percentages of selected diatom species and content of FeS₂-S in core TC-1B at the Talbot Creek area

藻群集の変化がみられたのは本層準のみである。
-0.28~-0.04 m: I 群の *Achnanthes hauckiana* と, II 群の *Nitzschia inconspicua*, *Navicula cryptocephala* などが産出する。

3) TC-1B での珪藻分析結果 (図 9)

-0.02 m から -2.04 m まで, 2~3 cm 間隔で珪藻群集の分析を行なった。珪藻群集はこの中で 4 回の周期的な変動を示す。

大口径のコア中には, 泥層中に 4 層の明瞭な埋没炭層が挟在しており (A: -0.46~-0.52 m, C: -0.87~-0.93 m, D: -1.23~-1.35 m, E: -1.62~-1.72 m), そのほかに不明瞭な泥炭層 B がある。埋没泥炭層 A, D, E では III 群に属する *Navicula mutica*, *Navicula pusilla* が

多い。一方, これら 3 層の泥炭層の直上の泥層からは, I 群に属する *Achnanthes hauckiana* が多産する。さらに上位では, II 群の珪藻種が多くなり, そしてそれらは再び埋没泥炭層へと移り変わる。このような傾向は埋没泥炭層 C でもある程度認めることができる。発達が悪い泥炭層 B では, III 群の *Navicula pusilla* が多く, その直上で I 群の *Achnanthes hauckiana* の量がややふえるが, 埋没泥炭層 A, D, E とくらべて変化は顕著ではない。

既述のように, 現在の塩性湿原では, I 群と III 群の珪藻の生息高度には少なくとも 50 cm 以上の差がある。したがって, 珪藻群集に大きな変化が見られた A, C, D, E の 4 層の埋没泥炭層とそ

の直上の層準では、堆積環境が急変したことが明らかである。Bでもわずかながらその傾向があり、層相の差の明瞭さと珪藻群集の変化の状態とはよく対応している。

4) TC-1B での硫黄含有量の測定結果

堆積物中の硫化鉄 (FeS_2) の含有量は、(1) 原料物質である SO_4^{2-} 濃度、(2) 酸化還元電位、(3) 還元バクテリアのための有機物質によって決まる。中でも、(1) に関しては、淡水環境と海水環境とでは SO_4^{2-} 濃度が桁違いに異なり、海水が淡水の1,000倍にも達するため、 FeS_2 の含有量も大きく異なる (中井ほか, 1982)。したがって、堆積物中の FeS_2 中に含まれるイオウ ($\text{FeS}_2\text{-S}$) の含有量を測定することにより、堆積物が淡水環境下で堆積したものであるのか、汽水あるいは海水環境下で堆積したものであるのかを判別することが可能になる。本稿では中井ほか (1982) に基づいて、TC-1B コアの試料を約10 cm 間隔で分析し、堆積物中のイオウの含有量の変化を明らかにした (図9)。

$\text{FeS}_2\text{-S}$ 値は全体として下部で大きく、上部が相対的に小さいという傾向がある。さらに細かく見ると、埋没泥炭AおよびCの付近では、泥炭の直上の泥質堆積物の部分で $\text{FeS}_2\text{-S}$ 値が上昇する傾向が認められる。同様のことは、埋没泥炭Eの部分で特に顕著であり、泥炭の部分の $\text{FeS}_2\text{-S}$ が0であるのに対し、その直上では9.7%にも達する。また、埋没泥炭Dの部分でも泥炭の直上で $\text{FeS}_2\text{-S}$ 値の増加が認められる。

このような傾向は、埋没泥炭層の部分で淡水の影響が強い環境であったのに対し、その直上では海水の影響を強く受けた環境になることを示しており、珪藻分析の結果ともきわめて良好な対応を示している。

IV. 結果の解釈と問題点

急速な沈水期の存在とその年代：

TC-1B では層相・珪藻・硫黄含有量の3者から、A, D, E 3層の明瞭な埋没泥炭層形成直後に、少なくとも0.5 m を超える相対的海水準上昇 (Nelson and Kashima, 1993) が生じたことは確

かである。埋没泥炭層Cではやはり相対的海水準上昇が推定されるがその量は層相と諸分析結果から0.5 m 以下であったと思われる。発達はやや微弱な埋没泥炭層Bの分析結果は、わずかながら上記と似た傾向を示し、また比較的連続性がよいので、Cと同様な環境変化を推定することができる。分析はしていないが、F, G も層相と連続性から相対的海水準上昇が推定できる。したがって本地点で確実に相対的海水準上昇が起こった年代は、A, B, C, D, E の泥炭層形成直後、すなわち約0.4, 1.0, 1.3, 1.7, 2.5 ka BP (A, B の年代は MC-1B の資料から推定) となる。さらにF (約2.8 ka), Gの泥炭層形成直後にも同様なことが起こったとみることができる。調査地点に近いウィンチェスタークリークの埋没泥炭の年代は、上位から約0.4, 1.0, 1.2, 1.7, 2.3 ka BP で (Nelson, 1992a, b), これらは、本地点の A, B, C, D, E 層形成後の沈水期の年代とほぼ同じである。したがってサウススルー地域では、ほぼ300~500年の間隔で急速な、しかし量的には数10 cm 程度の沈水が最近約3,000年間に繰り返されたことになる。

沈水の原因と関連する問題：

沈水の原因としてはユースタティックな海面変化、砂州による閉塞や砂州の破壊などによる可能性がある。しかし、最近約3,000年間にこのように短周期のユースタティックな海水準変化があったという例は知られていない。また、300~500年おきに周期的に砂州の形成と破壊が起こることを説明しにくい。したがって、すでにワシントン海岸などで指摘されているように (たとえば, Atwater, 1992), 地震による間欠的沈水と考えるのが妥当である。その周期は上記のようにきわめて短い。たとえば、ニュージーランド北島東岸でのサブダクションスラストの枝断層の活動に基づくとみなされる海岸の隆起を伴う地震の再来周期はほぼ1,000年のオーダーで (たとえば, Berryman *et al.*, 1989), それとくらべて本地域の間隔は1桁小さい。このことは、本地域の地震の再来周期が実際に上記の段丘地域より短いことを示すとも考えられるが、本地域が沈降地域であるために、段

丘として現われないような小さな変動をもよく記録しているという可能性を示しているとも考えられる。今後、同一地震で隆起・沈降の両者がみられる地域において、地形と堆積物から復元される古地震の数、周期などを比較検討することが課題の一つである。本地域が最新の地震が約390年前とすると、この地域は次の地震発生にきわめて近いといえる。

上述の間隔はワシントン州の海岸で復元された巨大地震の間隔 (Atwater, 1992) とよく似ており、また両地域で時代的に似ているものもある (たとえば、太田・海津, 1995)。しかし、ワシントン州から本地域までは300 km 以上もあり、そのような広い範囲が同一の地震で影響を受けたとすると、実に巨大な地震を想定しなければならない。また、通常の¹⁴C年代測定の精度から考えると (Nelson 1992a, b; Nelson *et al.*, 1992), 両地域にみられる似た年代の沈水を同一地震によるものとみなしてよいかどうかはまだ確定できない。

最初に述べたように、サウススルーは第三系の向斜軸に位置しているので、今回復元された地震は向斜構造の成長と関係するより局地的なものである可能性も否定できない。このことを検討するために、また古地震の規模を求めるために、今後周辺地域に調査を広げ、個々の古地震の範囲を明らかにする必要がある。あわせて、加速器による¹⁴C年代測定など、年代測定の精度をあげる必要がある。

埋没泥炭層の分布と同定に関する問題：

埋没泥炭層は一般にサウススルーの奥 (南部、たとえば TC, BC, MC, BR およびウィンチェスタークリーク) で顕著であったが、下流部では不明瞭であった。これは、河口部では砂の量が多く、掘削がしにくいこと、潮流や沿岸流が強く微妙な海水準の変化を記録しにくい、上流部では、堆積・侵食などに影響するほかの条件による影響を受け難く、埋没泥炭層が保存されやすいためと想定できるが、確かなことは不明である。なお、その中で最上位のAにあたるものはきわめて連続性がよく、最新のイベントを記録している。

V. ま と め

1. サウススルーの沿岸低地の掘削調査によって最大7層の埋没泥炭層を見出した。これらの上限は明瞭で、海水・汽水成層に覆われ、泥炭層形成の後の急速な沈水を示す。このような環境変化は層相に加えて、珪藻および硫黄量の分析から確かめられた。

2. 急速な沈水は地震による沈降のためと解釈できる。古地震の年代は約2,800, 2,500, 1,700, 1,250, 1,000, 370年前で、再来周期が短い。

謝 辞

この研究の経費の一部は1990年度文部省国際学術研究 (代表者太田陽子, 課題番号02041031), および Nelson への研究費 (National Earthquake Hazards Reduction Program of the U. S. Geological Survey, および U. S. Nuclear Regulatory Commission) による。オレゴン州チャールストンの The Oregon Institute of Marine Biology, および The South Slough National Estuarine Research Reserve の Mike Graybill 氏には、宿泊、ポート・器具の借用などさまざまな点でお世話になった。硫黄含有量の測定は名古屋大学大学院生 (当時) 浜出 智君にお願いした。図の一部は横浜国立大学地理学教室の学生伊倉久美子さんにかいていただいた。本稿の内容は1992年度日本地理学会春季学術大会で発表し、討論していただいた。以上に対してここに厚く感謝の意を表する。なお本研究は IGCP Project 274の研究の一環である。

文 献

- Atwater, B. F. (1987): Evidence for great Holocene earthquakes along the outer coast of Washington State. *Science*, **236**, 942-944.
- Atwater, B. F. (1992): Geologic evidence for earthquakes during the past 2000 years along the Copalis River, south coastal Washington. *J. Geophys. Res.*, **97**, 1901-1919.
- Atwater, B. F. and Yamaguchi, D. K. (1991): Sudden, probably coseismic submergence of Holocene trees and grass in coastal Washington State. *Geology*, **119**, 706-709.
- Berryman, K. R., Ota, Y. and Hull, A. G. (1989): Holocene paleoseismicity in the fold and thrust belt of the Hikurangi subduction zone, eastern North Island, New Zealand. *Tectonophysics*, **163**, 185-195.

- Daríenzo, M. E. and Peterson, C. D. (1990) : Episodic tectonic subsidence of late Holocene salt marshes, northern Oregon, central Cascadia margin. *Tectonics*, **9**, 1-22.
- Kelsey, H. M. (1990) : Late Quaternary deformation of marine terraces on the Cascadia Subduction Zone near Cape Blanco, Oregon. *Tectonics*, **9**, 983-1014.
- McInelly, G. W. and Kelsey, H. M. (1990) : Late Quaternary tectonic deformation in the Cape Arago-Bandon region of coastal Oregon as deduced from wave-cut platforms. *J. Geophys. Res.*, **95-B5**, 6699-6713.
- 中井信之・太田友子・藤沢 寛・吉田正夫 (1882) : 堆積物コアの炭素同位体比, C/N 比および FeS₂ 含有量からみた名古屋港周辺の古気候, 古海水準変動. 第四紀研究, **21**, 169-178.
- Nelson, A. R. (1992a) : Holocene tidal-marsh stratigraphy in south-central Oregon—Evidence for localized sudden submergence in the Cascadia subduction zone. In Fletcher, C. P. and Wehmler, J. eds.: *Quaternary coasts of United States: Marine and lacustrine systems*. Society for Sedimentary Geology Special Publication, No. 48, 287-301.
- Nelson, A. R. (1992b) : Discordant ¹⁴C ages from buried tidal-marsh soils in the Cascadia subduction zone, southern Oregon coast. *Quatern. Res.*, **38**, 74-90.
- Nelson, A. R. and Kashima, K. (1993) : Diatom zonation in southern Oregon tidal marshes relative to vascular plants, foraminifera, and sea level. *J. Coastal Res.*, **9**, 673-697.
- Nelson, A. R., Ota, Y., Stafford, T. W., Umitsu, M., Kashima, K. and Matsushima, Y. (1992) : High-precision accelerator-mass-spectrometer radiocarbon dating of buried tidal-marsh soils—An approach to estimating the frequency and coastal extent of subduction zone earthquakes in Oregon and Washington. In Weiss, A. J. compiler: *Proceedings of 19th Water Reactor Safety Meeting*. U. S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research, NUREC/CP-0119, 261-276.
- 太田陽子・海津正倫 (1995) : アメリカ合衆国ワシントン州ナセル川河口付近における完新世後期の古地震の復原. 地学雑誌, **104**, 107-112.

(1994年1月31日受付, 1994年9月19日受理)