ボーリング調査による地震履歴の推定
－山形県庄内平野東縁活断層調査－

鈴木康弘[1)]・堀　正和[2)]・松尾　稔[1)]

1）名古屋大学工学部地圏環境工学専攻　〒464-01 名古屋市千種区不老町
2）三菱地所(株)　〒100 東京都千代田区丸の内2-3-2

1．研究の目的と背景

日本列島およびその周辺に発生する地震のうち，プレート境界型地震については近年防災計画が進展しているものの，内陸直下地震にはほとんど対処していない。その主な原因は，活断層の数が極めて多いことに加えて，活断層の活動周期が数百～数千年と長いために観測的手法では周期を特定できないことにある。内陸地震はたとえ比較的小規模なものであっても，震源が浅くしかも居住地に近いために大災害を与えることは歴史記録によっても明らかであり，個々の活断層の活動周期と地震発生の潜在的可能性（ポテンシャル）を特定して，それに応じた防災対策を講じることが急務である。

本研究の目的は，活断層の活動履歴をボーリング調査によって明らかにし，地震ポテンシャルを評価することにある。活断層の分布がほぼ完全にリストアップされた今日，地震履歴から地震の長期的な切迫具合いを判定することは，具体的な防災対策立案への重要なステップといえよう。とくに比較的簡便なボーリング調査によってこれを明らかにする方法の確立は，活断層が数多く分布する状況に鑑みたとき重要である。

2．地震履歴推定の原理

地形地質学的な手法によって活断層変位およびそれによって生じる地震の時期を推定する際には，調査地域に分布する堆積物の堆積時における古環境を復元し，その中から断層運動に起因する特異な現象を抽出する。その際の原理は調査地域の堆積環境によって異なる。本研究で用いた原理を単純化して以下に述べる。

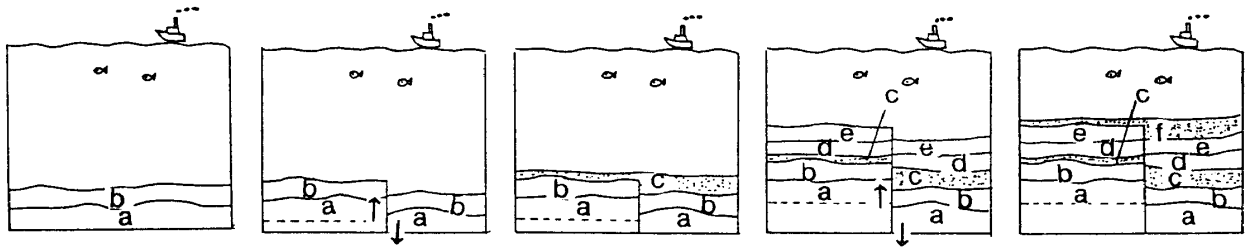

図１　断層運動と地層の堆積（浅海底の例）

湾内もしくは沿岸部の海底の地層は，活断層の活動の痕跡を良好に保存する。それはこのような場所における堆積物が細粒であり，ほぼ連続的に土砂が堆積することによって図１に示す例のように地震という事件を良好に記録するためである。まず，細粒堆積物がほぼ水平に一様に堆積する場において（図１-A），ｂ層堆積後に断層変位が生じると海底には崖が生じる（図１-B）。この後，土砂は沈降側により堆積しやすくなるため，次の断層変位までの間に充分な時間が経過すると，海底の崖はｃ層によって埋め戻され平坦化される（図１-C）。さらに堆積活動が続きｄ，ｅ層が堆積した後に再び断層変位が生じると（図１-D），その後ｆ層がｃ層と同様に堆積する（図１-E）。このような堆積過程を仮定すると，断層の累積的な変位によって特徴的な堆積構造が形成される。

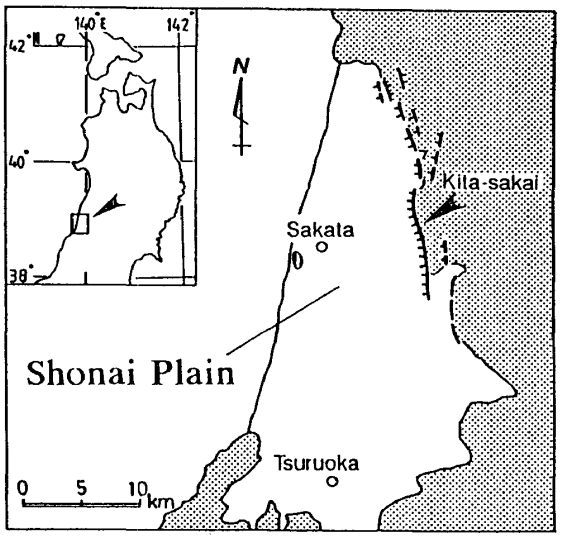

図２　調査地点位置図

ここで，断層の変位時期はｂ層およびｅ層の堆積後であり，ｃ層およびｆ層の堆積以前である。このことから，断層を挟んだ少なくとも２地点でボーリング調査を実施して地層の堆積構造ならびに年代を決定することができれば，断層の変位時期を推定することが可能になる。

３．調査地域の堆積環境と活断層

本研究では上述の原理を陸上の調査地域に適用する。調査地域は山形県庄内平野東縁である（図２）。ここでは沖積平野が南北方向に伸びる直線的な急崖によって東方の丘陵と境されており，崖の位置に活断層が位置する。

空中写真判読および写真測量により，当地域には扇状地を横切る比高1～2mの南北方向の崖が認められた。等高線の走向から扇状地が形成された当時の古流向を推定すると東→西であり，崖の向きは明らかに古流向と直交している（図３）。このためこの崖は，河川浸食によって形成されたものではなく断層活動起源であると判断される。

断層変位を受けている扇状地は，勾配約４％と著しく緩傾斜で，東方の丘陵域から流下する小河川によって形成されたものである。ボーリング調査によって判明したこの扇状地を構成する堆積物は厚く，ほぼ全層準が細粒物により構成されている。表面流水を伴うような顕著な河川が見られないことから，この扇状地は，小河川が洪水時に氾濫して細粒土砂を一面に堆積させることによって形成されたと推定される。この様な堆積活動はもちろん間欠的であるが，地層の堆積年代の尺度から見るとほぼ連続的であり，この点において前述の海底における堆積状況と共通している。このような場所に活断層が存在すれば，地層中に活動の痕跡が保存されている可能性が高く，断層の活動履歴を推定することができると考えられる。

活断層の活動時期を推定するために，1987年に断層通過地点でトレンチ調査，続いて1989年には断層を挟む２地点でオールコアボーリング調査が行われ，断層の存在が確認されている（鈴木ほか，1989，1991）。

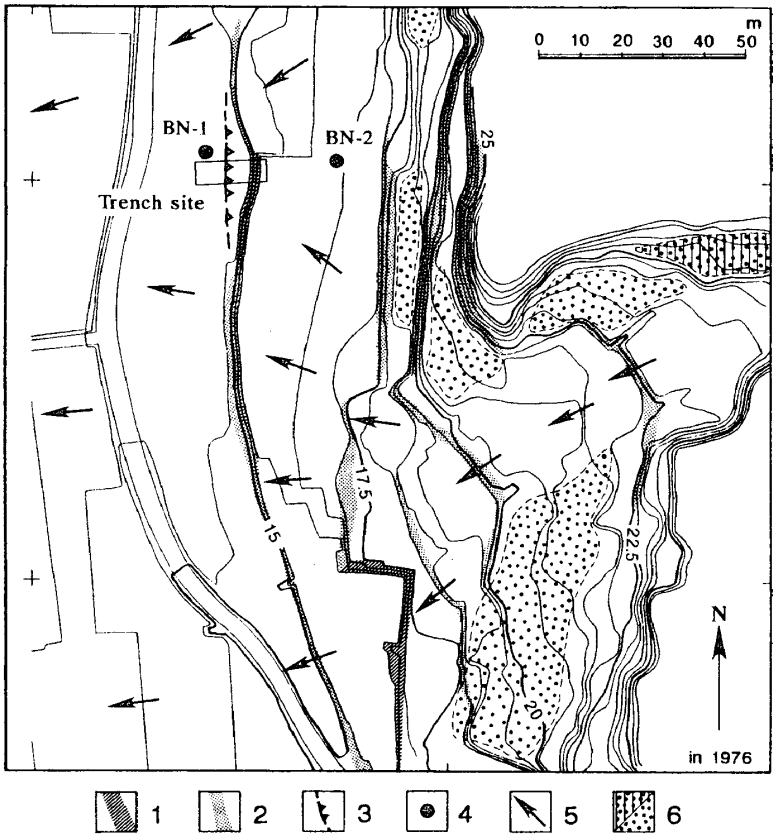

図３　調査地域の地形と古流向

1:人工改変を受けた崖地形，2:低断層崖，3:トレンチ調査で確認された活断層の位置，4:扇状地形成時の古流向，5:完新世の河岸段丘

４．ボーリングコアの解析方法と結果

断層を挟んだ地層の分布様式から断層活動の時期を特定するため，本研究では，1989年に実施されたボーリング調査によって得られたサンプルについて，粒度分析および^{14}C年代測定を行ってボーリングコアの対比を行った。

(１)粒度分析法

堆積物の粒度組成によって詳細な対比を行うため，ボーリングコアの約80層準で粒度組成を調べた。粒度分析は森山（1976）の提案した，ふるい分けと光透過式沈降分析の組合せ法によった。光透過式沈降分析法によれば従来の比重浮ひょうによる方法に較べて分析時間が大幅に短縮でき，多量の試料分析に好適である。本研究で用いた機器は，セイシン企業製の光透過式粒度分析器ＳＫＮ－1000型である。

(２)地層の年代決定法

地層の年代は，名古屋大学年代資料測定研究センターのタンデトロン加速器質量分析計による^{14}C年代測定法（中村・中井，1988）により決定した。ボーリング調査により採取されるサンプルは一般に少量であるため，従来の測定法が適用できる層準は限られる。これに対し加速器を用いた測定法は微量試料の分析を可能にしている。今回の測定に用いたサンプル重量の最小値は0.08mgである。

表1　年代測定結果

Depth	Material	Weight(mg)	Age, years BP*	Code
BN2 2.56- 2.71	Wood	2.10	2,370±200	NUTA-1757
BN1 14.92-15.10	Wood	14.97	40,710±790	NUTA-1758
BN1 2.85- 2.90	Wood	0.62	2,970±170	NUTA-1759
BN1 7.20- 7.40	Wood	6.11	4,800±110	NUTA-1760
BN1 11.82-11.94	Wood	1.56	6,350±180	NUTA-1766
BN2 3.94- 4.00	Charcoal	8.84	3,430±70	NUTA-1767
BN1 12.56-12.67	Wood	14.99	6,360±260	NUTA-1768
BN1 10.10-10.30	Grass	0.08	7,390±510	NUTA-1769
BN1 7.40- 7.60	Wood	0.67	6,040±230	NUTA-1770
BN1 12.25-12.46	Charcoal	14.49	6,580±130	NUTA-1771

* C-14 age with one standard deviation, using Libby's half life of 5570 years, and 1950 A.D. as reference year.

(3)分析結果

年代測定結果を表1に，また粒度分析の結果を年代値と共に図4に示す。この図においては，東京大学総合資料館の従来法による測定値（鈴木ほか，1991）を合わせて（*を付して）示した。粒度分析は約80層準で粒径レンジを13段階に分けて計測した後，レンジを6段階にまとめ，さらに同一層と見なされる層準についてはまとめ簡略化した。

以上で得られた年代値と粒度組成を基に地層を分類・対比し，断層をまたぐ堆積構造を推定した（図5）。

5．地震履歴および地震ポテンシャルの推定

前述の海底の地層を例に紹介した地震履歴推定の原理に基づいて図5の堆積構造を解釈すると，地震活動の時期は次のように推定される。

(1)2,500年前以降の地震

地表地震断層を生じさせた最新の地震は，比高1m程度の崖を伴う地表変形を生じさせている。その時期は，これまでのトレンチ調査による深度3mまでの表層観察によって2,500年前以降とされ，この地震が西暦850年の歴史地震である可能性が指摘されている（鈴木ほか，1989）。

(2)5,300年前～4,300年前の地震

5,300年前の地層は断層の両側で認められ細粒物により構成されていることから，当時の地表面は断層を挟んで高度差のないほぼ平坦なものであったと考えられる。これに対し，図5において2b層の層厚は断層を挟んで大きく異なる。とくにこのうち腐植物をほとんど含まない粒径30～60μmのシルト分が卓越する上部層は，BN-1にのみ認められる特異な地層である。このことから2b層堆積中すなわち5,300～4,300年前に地震が発生したと考えられる。

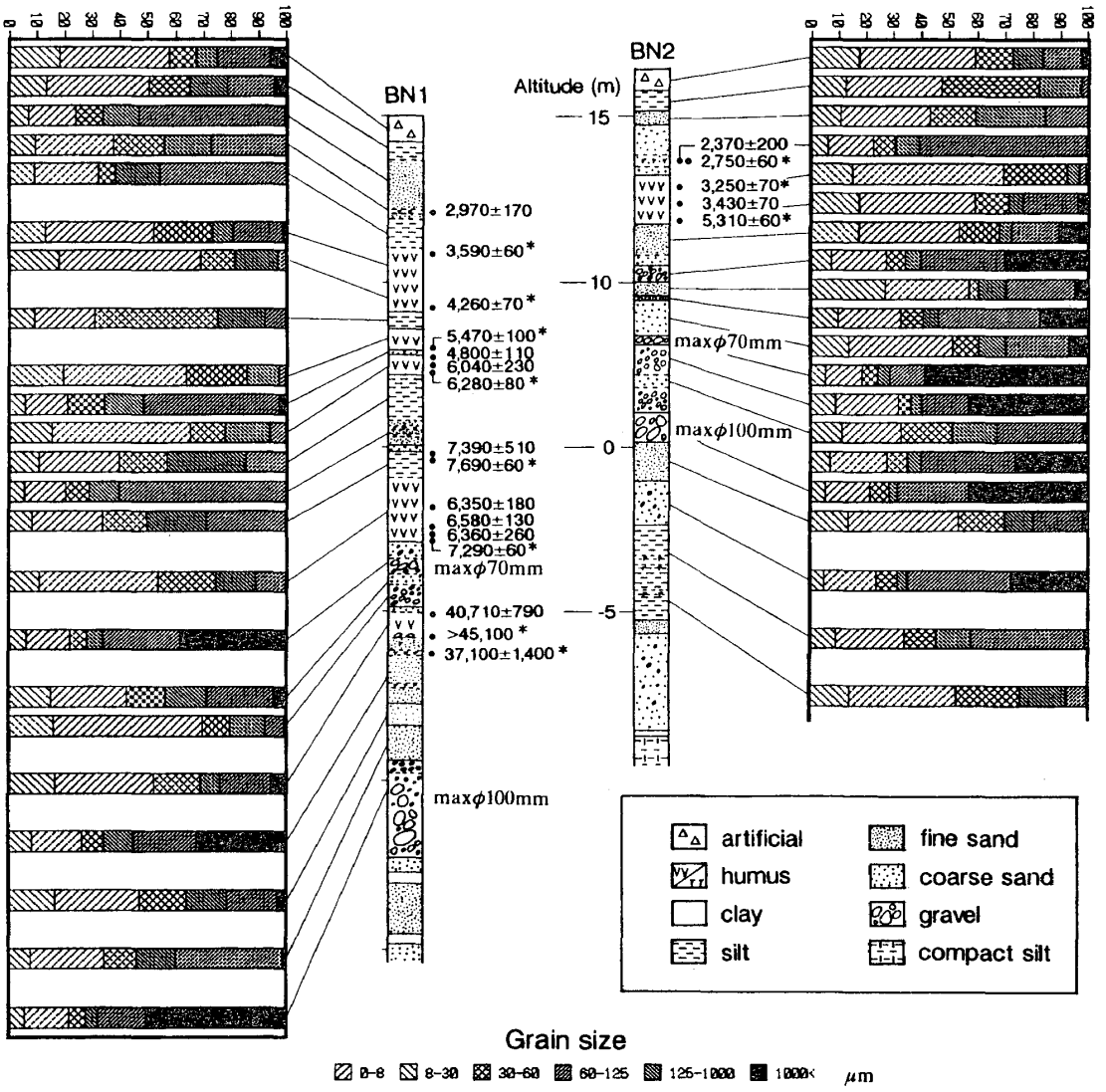

図4　ボーリングコアの年代および粒度分析結果

(3)5,300年前以前の地震

BN-2で5,300年前より古い年代値が得られていないため，5,300年以前の地層の対比の手段は粒度組成に限られ，地震の年代は特定できない。しかし，地層の分布高度に系統的なくい違いが認められることから，これ以前にも断層活動があったことは確実である。

最新の地震発生時期を西暦850年，そのひとつ前の地震を5,300年前～4,300年前とすると，この間の間隔は約3,200～4,200年である。2回の地震の間隔のみで地震の周期を論ずることは難しいが，一般に特定の活断層が変位することによって生じる地震には一定の周期性が認められていることから，この間隔は断層活動のおよその周期を示していると考えられる。この結果からこの断層の地震ポテンシャルを評価すると，次の地震の時期は約2千年以上先と計算される。

しかし，今回の結果は最新の地震を850年の地震と仮定して得られたものであることに注意しなくてはならない。最新の地震が2,500年前より少し後（例えば2,000年前）に生じた可能性も残されており，その場合には地震の周期は最短で約2千年まで短縮される。その場合，次の地震の発生は切迫し，地

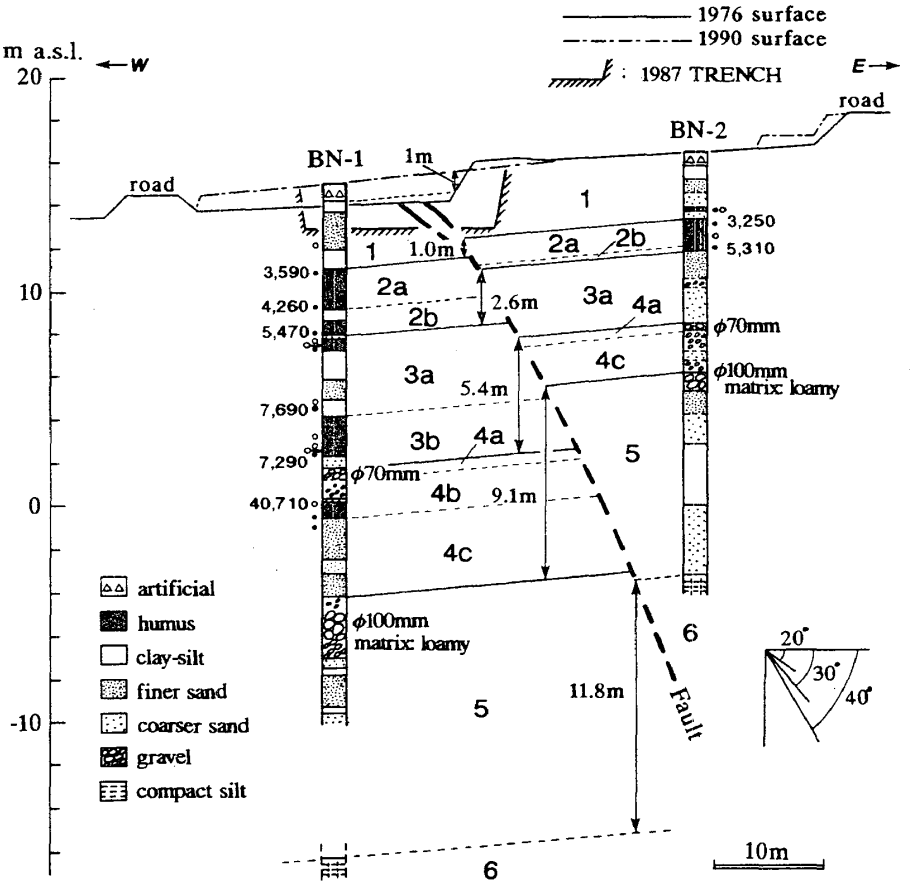

図5　活断層の変位に伴う地層のずれ

震ポテンシャルは上がる。地震発生の可能性を断言するためには，断層の最新活動時期を地質学的調査によって決定することが重要である。

謝　辞

本研究を実施するにあたり，名古屋大学名誉教授中井信之先生，ならびに名古屋大学年代測定資料研究センターの中村俊夫助教授には年代測定手法をご指導いただき，測定における多くの便宜を図っていただいた。また，名古屋大学文学部地理学教室の海津正倫助教授には粒度分析器の使用を許可していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

森山昭雄（1976）沖積平野および浅海底の地形と粒度分析その１－フルイと光透過法の組合わせによる細粒堆積物の粒度分析法について－．愛知教育大学研究報告（自然科学），No. 25, p. 1-10.

中村俊夫・中井信之（1988）放射性炭素年代測定法の基礎－加速器質量分析法に重点をおいて．地質学論集, 29, p. 83-106.

鈴木康弘・池田安隆・渡辺満久（1991）庄内平野のパレオサイスミシティー．地震学会講演予稿集, 1991, No. 2, p. 16.

鈴木康弘・池田安隆・渡辺満久・須貝俊彦・米倉伸之（1989）庄内平野東縁における完新世の断層活動と1894年（明治27年）庄内地震－観音寺断層のトレンチ発掘調査による検討－．地震, 42, p. 151-159.