

活断層が引き起こす地震の規模ならびに周期の揺らぎについて

中村 洋介*

キーワード：活断層、平均変位速度、地震の規模、地震の再来間隔

1. はじめに

世界有数の地震国である我が国にとって内陸直下型地震の再来間隔を精密に求めることは、今後の我が国における都市・防災・交通等の計画を行う上での根本にかかわってくる重要な研究課題である。未曾有の大災害を招いた1995年の阪神大震災以降、我が国では国の研究機関や大学等による活断層調査の調査数が飛躍的に増加した。我が国主要活断層の至る場所においてトレンチ・ボーリング掘削調査が精力的に行われ、これら活断層における過去に地震が起きた時期や地震時1回における断層の変位量、さらには地震の再来間隔などが次々と明らかにされてきた。

近年になって、再来間隔が求められている研究事例は

これまで少なかったB級活断層（平均変位速度0.1~1.0 m/yr）における地震の再来間隔も筆者の一連の研究成果によって徐々に算出されるようになってきた（表1：中村、2005、2006；Nakamura et. al, in press等）。これは、筆者が考案した簡易ボーリングを用いた被覆土壌掘削法（中村、2005）による貢献が大きい。活断層の良好な変位基準である河成段丘面の編年がこれまで困難とされてきた火山灰稀産地域における河成段丘面の編年データが蓄積できるようになってきたためである。

2. 北陸地方の活断層（魚津断層、森本 - 富樫断層）における平均変位速度の変化の事例

筆者のこれまでの研究成果によって、活断層の中には

表1 魚津断層における活断層資料表
(中村、2005をより引用)

地点名	測線番号	走向	断層形態	変位基準	離水年代 (ka)	上下変位 (m)	隆起側	上下平均変位速度 (mm/yr)
広野	A-A'	NNE	撓曲崖	IV面	60~70	10	SE	0.14~0.17
東福寺野	B-B'	N-S	撓曲崖	I面	140~180	70	E	0.39~0.50
中野	C-C'	N-S	撓曲崖	II面	105~115	42	E	0.37~0.40
大崎野	D-D'	N-S	撓曲崖	IV面	60~70	22	E	0.31~0.37
栗山	E-E'	NNE	低断層崖	VIII面		1.7	E	
浅生	F-F'	NNE	低断層崖	VI面	(20~30)	2.2	E	(0.07~0.11)
下椿	G-G'	NE	低断層崖	V面	45~55	6.0	SE	0.11~0.13
上野	H-H'	NE	撓曲崖	V面	45~55	25	SE	0.45~0.56
大海寺野	I-I'	NNE	撓曲崖	III面	95~105	36	SE	0.34~0.38
石垣	J-J'	NNE	撓曲崖	IV面	60~70	26	SE	0.37~0.43
江口	K-K'	NNE	低断層崖	VIII面		1.8	SE	
天神野新	L-L'	NE	撓曲崖	IV面	60~70	23	SE	0.33~0.39
十二貫野	M-M'	NNE	撓曲崖	I面	140~180	128	SE	0.70~0.91
田家野	N-N'	N-S	撓曲崖	IV面	60~70	11	E	0.16~0.18
前沢	O-O'	NE	撓曲崖	IV面	60~70	15	SE	0.21~0.25
荻生	P-P'	NNE	低断層崖	VIII面		1.9	E	
福島	Q-Q'	NE	低断層崖	VIII面		1.4	SE	
新屋	R-R'	NE	低断層崖	VIII面		1.6	S	
下山新	S-S'	NE	低断層崖	VI面	(20~30)	3.4	SE	(0.11~0.17)
不動堂	T-T'	NE	逆向き低断層崖	VI面	(20~30)	4.1	NW	(0.14~0.21)

* 立正大学地球環境科学部

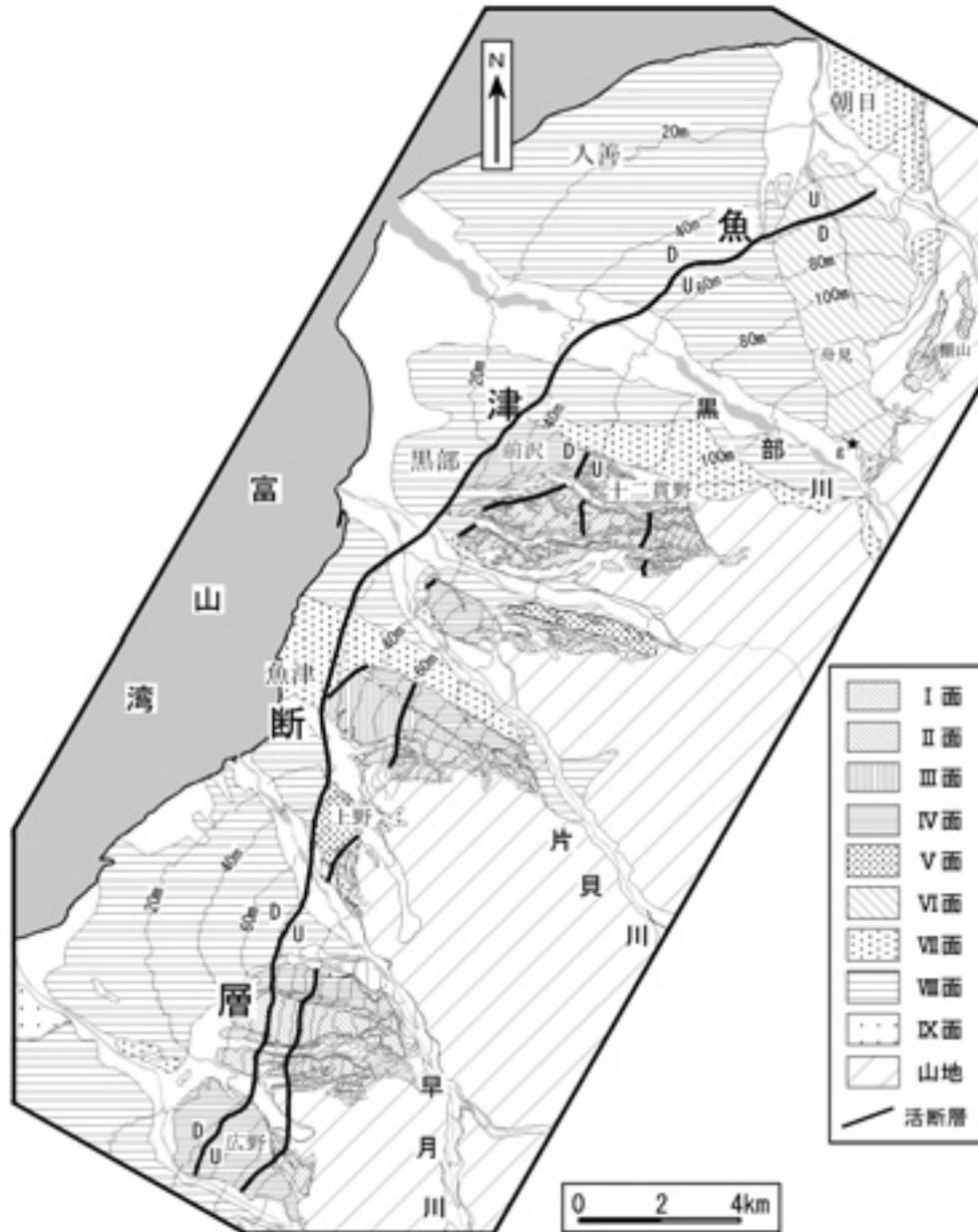


図1 魚津断層周辺の地形分類図

中村 (2005) を一部改変

平均変位速度が時代と共に変遷してきていると考えられる事例が存在する。例えば、魚津断層によって限られる富山平野東縁地域では、酸素同位体ステージ6 (約14~18万年前) に形成された河成段丘I面の上下変位量が約128mであるのに対し (表1、M-M'), 同ステージ4 (約6~7万年前) に形成された河成段丘IV面の上下変位量は約26mである (表1、L-L')。前者の上下平均変位速度は0.7-0.9mm/yrであるのに対して、後者では0.4mm/yrとなり、前者が後者の倍近い平均変位速度を示す (中村, 2005; 図2、M-M'、L-L')。

この場合の解釈として、平均変位速度が時代と共に変

化しているという仮説が挙げられる。すなわち、約16万年前から10万年前までは1mm/yrを超える程度の変位速度で大地震が繰り返し発生し、約10万年前以降は現在と同じ程度の上平均変位速度で地震が発生してきたと考えるものである。もちろん、上記の2つの平均変位速度の分布のみから「10万年前を境に平均変位速度が変化した」とするのはいささか強引な考え方である。しかしながら、酸素同位体ステージ5b (約9~10万年前) に形成された河成段丘面の上下変位量が約40mであり (表1、I-I'), 約0.4-0.5mm/yrの上下平均変位速度を示す (表1、I-I')。したがって筆者は、上記の仮説が成立

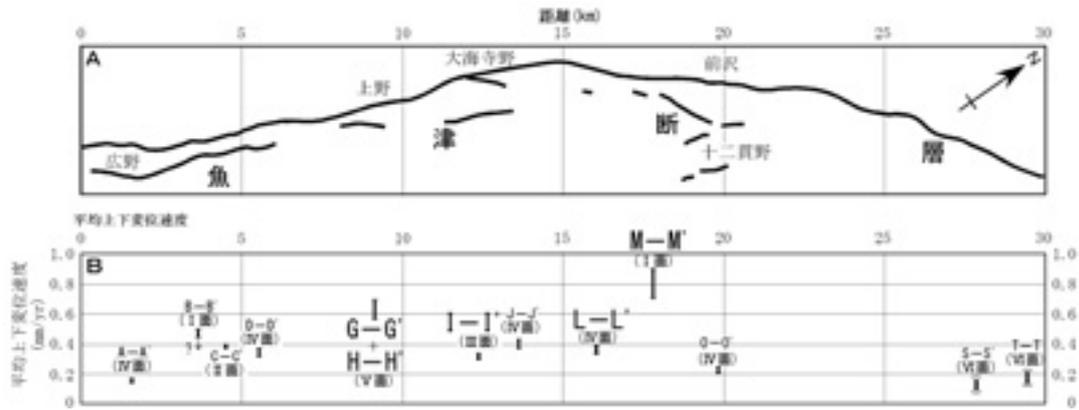


図2 魚津断層における平均上下変移速度分布
(中村、2005を一部改変)

表2 森本 - 富樫断層における活断層資料表
(中村ほか、2006を一部改変)

測線	走向	段丘面 (形成時期)	上下 変位(m)	隆起 側	上下変位速度 (mm/yr)
A-A'	NE	森本面(6ka)	0.9	SE	0.15
B-B'	N-S	笠舞IV面(10ka)	3.5	E	0.35
C-C'	NE	笠舞IV面(10ka)	2.0	SE	0.20
D-D'	NE	笠舞IV面(10ka)	2.9	SE	0.29
E-E'	NNE	笠舞IV面(10ka)	3.5	SE	0.35
F-F'	NNE	森本面(6ka)	1.4	SE	0.23
G-G'	NE	森本面(6ka)	1.3	SE	0.22
H-H'	NNE	森本面(6ka)	≥0.8	SE	≥0.13
I-I'	NE	森本面(6ka)	1.9	SE	0.32
J-J'	NE	笠舞IV面(10ka)	2.2	SE	0.22
K-K'	N-S	笠舞IV面(10ka)	1.6	E	0.16
L-L'	NE	笠舞IV面(10ka)	2.0	E	0.20
M-M'	NE	笠舞II面(30-35ka)	≥1.7	SE	≥0.05-0.06
N-N'	NE	笠舞I面(45-50ka)	≥3.9	SE	≥0.08-0.09
O-O'	NNE	野田I面(100ka)	≥5.5	SE	≥0.06
P-P'	NNE	笠舞IV面(10ka)	2.6	SE	0.26
Q-Q'	NE	笠舞IV面(10ka)	1.6	SE	0.16
R-R'	NNE	笠舞IV面(10ka)	≥4.0	E	≥0.40
S-S'	NNE	笠舞IV面(10ka)	≥2.4	E	≥0.24
T-T'	N-S	笠舞IV面(10ka)	≥2.4	E	≥0.24
U-U'	N-S	笠舞IV面(10ka)	≥2.5	E	≥0.25
a-a'	N-S	笠舞II面(30-35ka)	21	E	0.60-0.70
b-b'	N-S	笠舞II面(30-35ka)	15	E	0.43-0.50
c-c'	NNE	野田I面(100ka)	45	S	0.45

する、すなわち「平均変位速度が時代と共に変化している」という活断層が存在しているのではないかと考えている。

また、魚津断層全体では十二貫野地域(M-M')の平均上下変位速度(0.7-0.9mm/yr)が最も早いに対し、形成年代が10万年前よりも若い段丘面では上野地域(G-G'、H-H')の平均上下変位速度(0.6-0.7mm/yr)が最

も早い(図2)。さらに、十二貫野地域ではI面の平均上下変位速度(図1:M-M')が突出しており、近隣で測定したIV面のデータ(L-L'、O-O')は0.4mm/yr以下の値を示す。したがって、魚津断層では平均上下変位速度が時間だけでなく、活動場所も変遷している可能性が示唆される。

また、同様の現象は金沢平野東縁を限る森本富樫断層



図3 森本 - 富樫断層中部における地形分類図
(中村ほか、2006を一部改変)

でも起きている可能性がある。

断層中央部の金沢市街地付近には、野町撓曲、長坂撓曲、野田山撓曲が並走する。国土地理院発行の1/25,000地形図の読み取りによって算出された野田山撓曲の上下変位量は約45mである(表2;中村ほか、2006)。これを野田I面の形成年代(100,000年)の値で割ると、平均変位速度は約0.45mm/yrとなる。ただし、野田山撓曲が野田I面形成以降、森本 - 富樫断層の活動によって一定の割合で上下変位を受けてきたかどうかについては疑問が残る。

その理由として、野田山撓曲の東方延長に位置する犀川右岸の小立野面には断層運動に伴う上下変位が認められないことが挙げられる(図3)。このことは、野田山撓曲は小立野面形成以降にはあまり活発に活動していない可能性を示唆する。また、野田山撓曲の撓曲崖の浸食が激しく進行していることも、最近の地震活動が活発でないことを支持する。

仮に野田山撓曲における野田面形成時の変位速度が現在の野町撓曲のそれ(0.7mm/yr;表2)とほぼ同等とした場合、野田山撓曲は野田面形成以降の40,000年間で

総上下変位量の約6割にあたる約28mの上下変位を受けた計算になる。ここで、上述のような野田山撓曲の活動史を仮定した場合、最近100,000年間の森本 - 富樫断層中央部は平均変位速度がほぼ一定(B級上位)のまま、前半の40,000年間は野田山撓曲の位置で、後半の60,000年間は野町撓曲の位置でそれぞれ活動しているとみなすことができる(図3:ただし、長坂撓曲の活動は野町撓曲の活動に比べて非常に小さいので無視できるものとする)。

したがって、金沢市街地付近における3条の撓曲における最近100,000年間の断層運動は、野田山撓曲に始まり(長坂撓曲に一時的にシフトし)、野町撓曲に移行した可能性が高い(図3)。

3. 平均変位速度の変化を検証する2つの地震

近年、既述の仮説を検討するための材料となる地震が立て続けに発生した。2003年宮城県北部地震ならびに2004年新潟県中越地震である。2つの地震共に明瞭な地表地震断層は現れなかったものの、旭山撓曲(前者)な

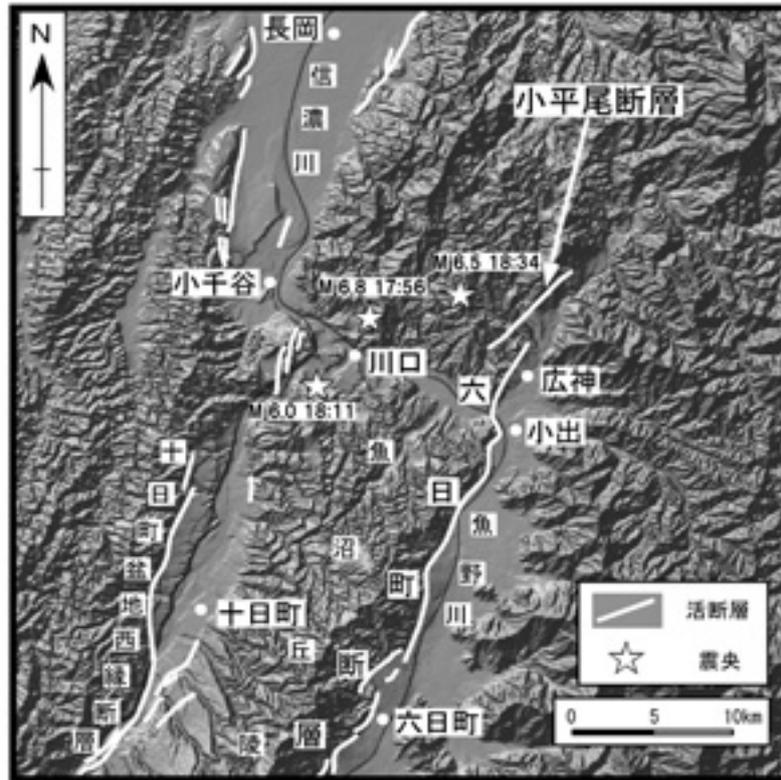


図4 新潟県中越地方の地形と活断層
(中村、2007より引用)

らびに小平尾断層（後者）という変動地形は既存研究（例えば、渡辺ほか、2001等）によって既に報告されていたものである。ところで、活断層としての小平尾断層の存在は、新潟県魚沼市（旧広神村）の小平尾地区周辺における後期更新世に形成された河成段丘面の累積的な変形（写真1）を基に指摘されたものであり、この場合の小平尾断層とは断層が数m上下変位して造地形運動を伴うM7クラス以上の地震を起こす断層として認定されたものである（図4）。

しかしながら、新潟県中越地震では小平尾地区における地表の上下変位量は僅か数cmであり、山地と平野の分化が進行するような造地形運動はほとんど発生しなかった（写真2）。したがって、この地域に既に認められていた断層変位地形（渡辺ほか、2001）は今回の規模（M6後半）の地震の繰り返しのみで形成されることはない。言い換えれば、今回の規模の地震が何百回繰り返して発生しても山地と平野の分化はほとんど進行しない。

2004年新潟県中越地震における小平尾断層の挙動の解釈として、(1)今回の地震がたまたま造地形運動を伴わない規模で起こったのか、(2)数万年スケールで引き起こす地震の規模が小さくなってきているのか、といった問題は現段階では解決されていない。また、(1)の問題では、

(A)今後もずっと造地形運動を伴わない地震しか起こさないのか、(B)造地形運動を伴う地震と伴わない地震が交互に（もしくはランダムに）繰り返し発生するのか、といった問題も合わせて考えていくべきである（中村、2007）。

以上のようなことを踏まえると、地質学的なスケールで見て平均変位速度が時代と共に変化している活断層は我が国においてある程度存在するのではないかと考えられる。

4. 平均変位速度が変化する活断層の存在の意義と現在の活断層（特にB級活断層）評価の問題について

トレンチ掘削調査、反射法地震探査、ならびに大規模ボーリング調査は、活断層研究における「三種の神器」と言われ、これまでに公表されている地震の再来間隔の大半はトレンチ掘削調査や大規模ボーリング調査の結果に基づいて算出されているものである。また、地震調査研究推進本部は、これまでの研究によって報告されている活断層の平均変位速度や地震の再来間隔等を基に活断層の評価を行い今後30年以内の地震発生の確率を算出し公表している（地震調査研究推進本部、2008）。



写真1 小平尾地区の道路の変形
(中村、2007より引用)



写真2 上原高原における段丘面の変形
(中村、2007より引用)

しかしながら、トレンチ掘削調査や大規模ボーリング調査によって求められる地層の年代は1万年前程度が限界である。また、本研究によって平均変位速度が時代と共に変化している活断層の存在が示唆された。したがって、地震の再来間隔が数千年～数万年（概ね2万年以内）であるB級活断層の地震の再来間隔をトレンチ掘削調査や大規模ボーリング調査のみから精密に算出することは困難である。また、そのような数値を基に今後30年以内の地震発生の確率を算出することは「数値の独り歩き」を助長する非常に危険な行為である。

したがって、B級活断層の地震の再来間隔を精密に求めるためには、トレンチ掘削調査や大規模ボーリング調査による過去1万年間のデータと筆者がこれまでにやってきた手法（活断層によって変位を受ける複数の段丘面において精密に編年を行って平均変位速度の算出を行う）によって算出された平均変位速度データを総合的に判断する必要がある。

引用文献

- 地震調査研究推進本部 (2008) 活断層の長期評価.
http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_danso.htm
- 中村洋介 (2005) 富山平野東縁, 魚津断層の第四紀後期における平均上下変位速度. 第四紀研究, 44, 353 - 370.
- 中村洋介 (2006) 河成段丘面の変形から見た北陸地方東部の活断層の第四紀後期における活動性と地震の再来間隔. 地球環境研究, 7, 17 - 30.
- 中村洋介・宮谷淳史・岡田篤正 (2006) 森本 - 富樫断層における上下平均変位速度分布. 活断層研究, 26, 151 - 162.
- 中村洋介 (2007) 2004年新潟県中越地震の変動地形学的解釈. 地球環境研究, 8, 71 - 75.
- Nakamura, Y., Okada, A., and Takemura K. Late Quaternary activity of faults and recurrence interval of earthquakes in the eastern Hokuriku region, northern central Japan, on the basis of precise cryptotephra analysis of fluvial terrace sequences, Geomorphology, in press.
- 渡辺満久・堤浩之・鈴木康弘・金幸隆・佐藤尚登 (2001) 1 : 25,000都市圏活断層図『小千谷』, 国土地理院技術資料D・1 - No.388.

The Change of Magnitude and Recurrence Interval of Earthquakes Caused by the Active Faults

Yosuke NAKAMURA*

*Faculty of Geo-environmental Science, RISSHO University

Keywords: active fault, average slip rate, magnitude, recurrence interval