

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

中村 洋介*

1. はじめに

北陸地方には、北東 - 南西走向の逆断層群が南北約100km、東西約150kmの範囲にわたって発達する(活断層研究会、1991; 池田ほか、2002; 図1)。本地域では、火山灰層が段丘面構成層中や被覆土壌層(ローム層)中に肉眼で認められず、自然露頭に乏しいことから、河成段丘面の形成時期は大部分においてながらく未解明であった。しかしながら、筆者らの一連の研究によって北陸地方東部(富山平野~金沢平野間)における河成段丘面の編年・対比が可能になってきた(中村、2002、投稿中; 中村・金、2004; 中村・岡田、2003; 中村ほか、2003a、2003bなど)。そこで、本研究では筆者らのこれ

までの研究によって得られた北陸地方東部の河成段丘面の形成時期を用いて、本地域に分布する活断層の活動性ならびに地震の再来間隔の算出を行い、これらの対比を行うことによって北陸地方東部の第四紀後期における活構造の特徴についての解明を試みた。

2. 研究地域における活断層の上下変位速度の比較

以下では、本研究の成果とトレンチ・ボーリング調査等によって算出された既存研究による活断層の上下変位速度のデータをまとめ、本研究地域ならびに北陸地方における活断層の上下変位速度の比較を行う。本研究で求めた断層の上下平均変位速度は断層運動後に断層の下盤

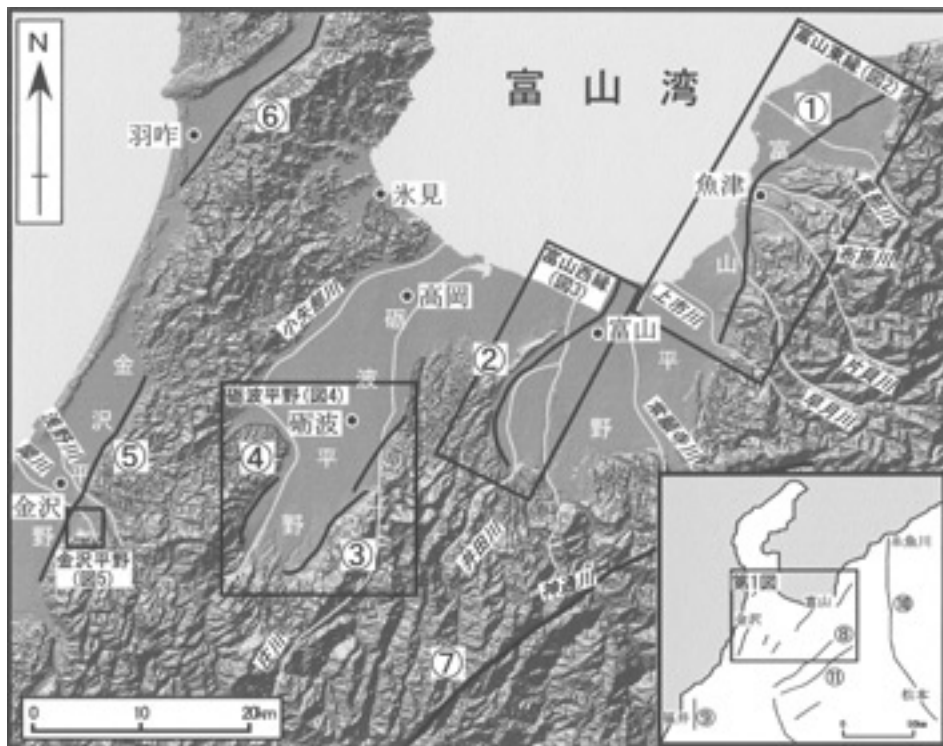


図1 研究地域の陰影図と活断層の分布

断層の分布は池田ほか(2002)を一部改変。魚津断層、呉羽山断層、高清水断層、法林寺断層、森本-富樫断層、石動山断層、および牛首断層、福井平野東縁断層、跡津川断層、糸魚川-静岡構造線。

* 立正大学地球環境科学部

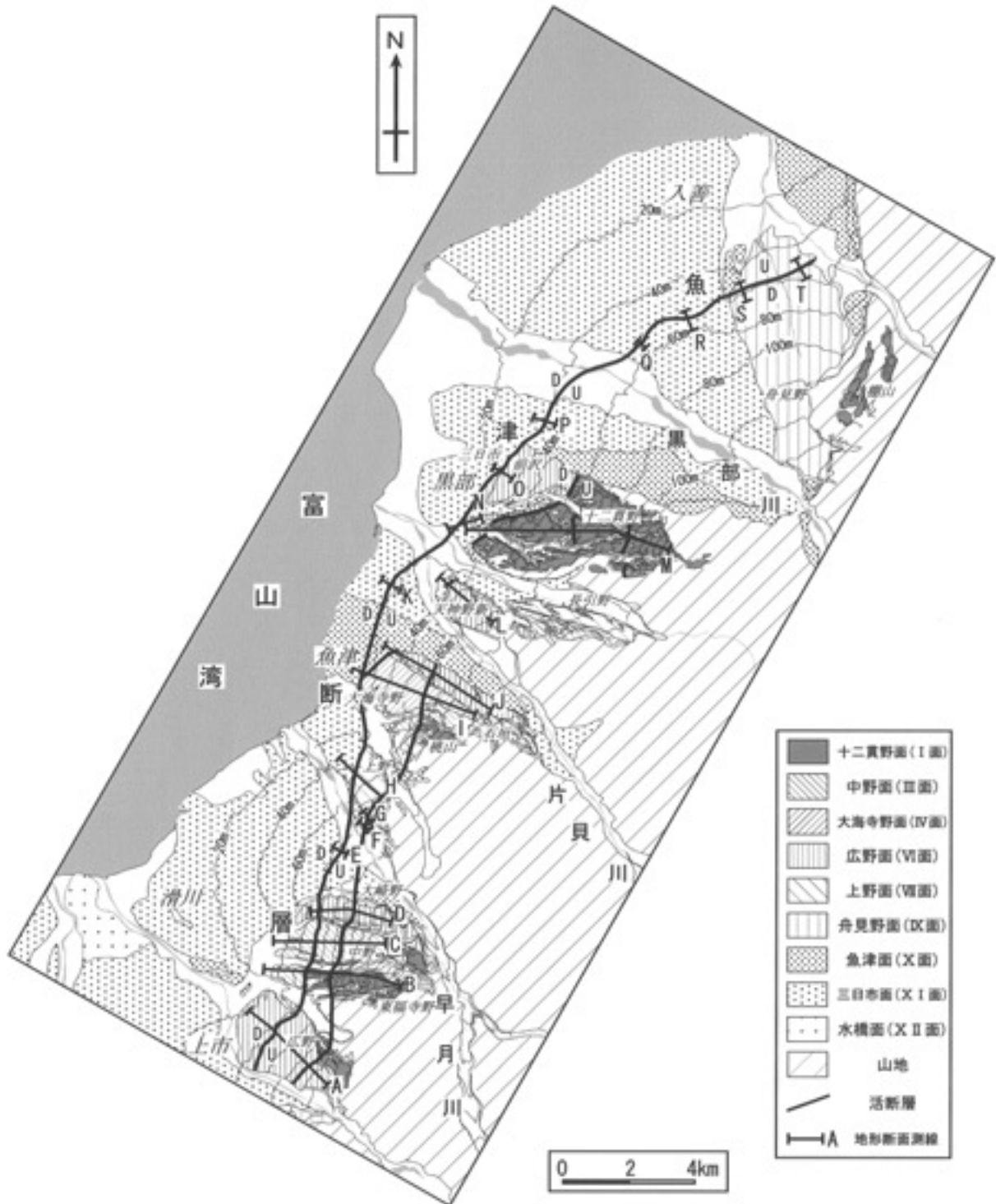


図2 魚津断層における地形断面測線位置

魚津断層の各種パラメータは表1を参照。詳細な断面位置ならびに断面図は中村 (投稿中) を参照。

表1 魚津断層の活断層資料表

地点名	測線番号	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'	広野面	50 ~ 60	10	SE	0.17 ~ 0.20
東福寺野	B - B'	十二貫野面	140 ~ 180	70	E	0.39 ~ 0.50
中野	C - C'	中野面	100 ~ 110	42	E	0.38 ~ 0.42
大崎野	D - D'	広野面	50 ~ 60	22	E	0.37 ~ 0.44
栗山	E - E'	三日市面		1.7	E	
浅生	F - F'	舟見野面	(20 ~ 30)	2.2	E	(0.07 ~ 0.11)
下椿	G - G'	上野面	40 ~ 50	6.0	SE	0.12 ~ 0.15
上野	H - H'	上野面	40 ~ 50	25	SE	0.50 ~ 0.63
大海寺野	I - I'	大海寺野面	85 ~ 95	36	SE	0.38 ~ 0.42
石垣	J - J'	広野面	50 ~ 60	26	SE	0.43 ~ 0.52
江口	K - K'	三日市面		1.8	SE	
天神野新	L - L'	広野面	50 ~ 60	23	SE	0.39 ~ 0.46
十二貫野	M - M'	十二貫野面	140 ~ 180	128	SE	0.71 ~ 0.91
田家野	N - N'	広野面	50 ~ 60	11	E	0.18 ~ 0.22
前沢	O - O'	広野面	50 ~ 60	15	SE	0.25 ~ 0.30
荻生	P - P'	三日市面		1.9	E	
福島	Q - Q'	三日市面		1.4	SE	
新屋	R - R'	三日市面		1.6	S	
下山新	S - S'	舟見野面	(20 ~ 30)	3.4	SE	(0.11 ~ 0.17)
不動堂	T - T'	舟見野面	(20 ~ 30)	4.1	NW	(0.14 ~ 0.21)

各断面の位置は図2に対応

側にのみ堆積する新期の堆積物の層厚を無視しているため、上下変位速度がやや小さく見積もられているものと考えられる。また、断層が複数条に分岐する地点では、走向がほぼ同等で同一の段丘面を変位させる場合にのみ、全ての上下変位速度を合算した。なお、地形面の編年ならびに対比は中村・岡田 (2003) に従う。

富山平野東縁に分布する全長約30kmの魚津断層 (図1) の、河成段丘の変形から算出した第四紀後期における上下変位速度は約0.2~0.9mm/yrである (図2、表1)。ただし、最小値の0.2mm/yrは断層の南端部で算出された値で、最大値の0.9mm/yrは断層中央部付近で算出された値である。また、変位速度を算出した9地点のうち、6地点が約0.4~0.6mm/yrの範囲に収まる (VI面を除く)。

富山平野西縁に分布する全長約25km (海域に延長する場合にはそれ以上) の呉羽山断層では (図1)、約0.1~0.4mm/yrの上下変位速度が河成段丘の変形から算出された (図3、表2)。ただし、富山平野西縁では上下変位速度の算出地点が断層南部に偏っており、断層中央部での上下変位速度の算出地点は2地点でのみである。

なお、呉羽山断層では富山県 (1997) が断層を挟んだボーリング調査を実施しており、中期更新世以降 (約63万年以降) ならびに約7000年前以降の上下変位速度が算出されている。中期更新世以降の上下変位速度は、呉羽山礫層 (約63万年前) に相当すると考えられる砂礫層の上下変位量 (175m) より、約0.28mm/yrの値が得られている。また、約7000年前以降における上下変位速度は、14C年代測定によって約7000年前に堆積したと測定されたシルト層の上下変位量 (2.5m) より、約0.35mm/yrの値が得られている。富山県 (1997) によって得られた双方の変位速度は、ともに断層の中央部で得られた値であり、本研究で得られた上下変位速度とほぼ同等の値を示す。したがって、呉羽山断層における上下変位速度の最大値が0.4mm/yrよりも有意に大きくなる可能性は低いと考える。

河成段丘の変形から算出した高清水断層 (砺波平野東縁、全長約20km; 図1) の、第四紀後期における上下変位速度は約0.1~0.3mm/yrである (図4、表3)。ただし、最小値の0.1mm/yrは断層の北端部ならびに中央部の山地側を走る断層で算出された値で、最大値の0.3

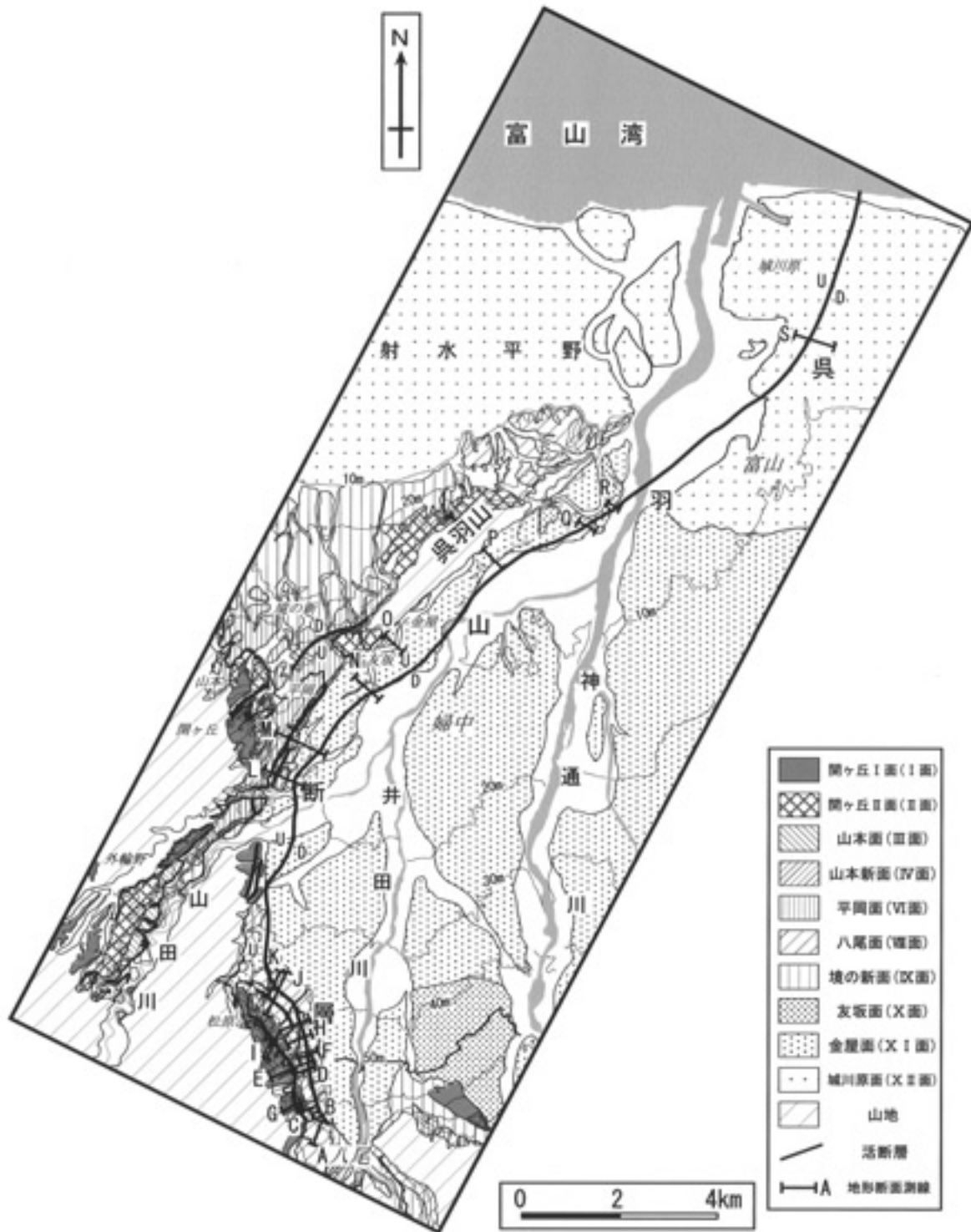


図3 呉羽山断層における地形断面測線位置

呉羽山断層の各種パラメータは表2を参照。詳細な断面位置ならびに断面図は中村ほか(2003b)を参照

表2 吳羽山断層の活断層資料表

地点名	測線番号	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)
福島	A - A'	八尾面	25 ~ 30	2.3	SW	0.08 ~ 0.09
妙川寺	B - B'	八尾面	25 ~ 30	4.7	W	0.16 ~ 0.19
	C - C'	八尾面	25 ~ 30	3.2	W	0.11 ~ 0.13
水谷	D - D'	八尾面	25 ~ 30	3.7	W	0.12 ~ 0.15
	E - E'	開ヶ丘 I 面	160 ~ 200	27	W	0.14 ~ 0.17
	E - E'	八尾面	25 ~ 30	5.0	W	0.17 ~ 0.20
	F - F'	八尾面	25 ~ 30	4.8	W	0.16 ~ 0.19
	G - G'	開ヶ丘 I 面	160 ~ 200	16	W	0.08 ~ 0.10
上高善寺	H - H'	八尾面	25 ~ 30	5.2	W	0.17 ~ 0.21
新田	I - I'	開ヶ丘 I 面	160 ~ 200	23	W	0.12 ~ 0.14
	I - I'	八尾面	25 ~ 30	3.5	W	0.12 ~ 0.14
奥田	J - J'	八尾面	25 ~ 30	6.9	W	0.23 ~ 0.28
	J - J'	八尾面	25 ~ 30	3.5	W	0.12 ~ 0.14
	K - K'	八尾面	25 ~ 30	3.2	W	0.11 ~ 0.18
古里	L - L'	平岡面	50 ~ 60	17	W	0.28 ~ 0.34
	L - L'	金屋面		2.2	W	
	M - M'	平岡面	50 ~ 60	20	W	0.33 ~ 0.40
	M - M'	金屋面		2.3	W	
小長沢	N - N'	金屋面		2.3	W	
友坂	O - O'	金屋面		3.0	W	
金屋	P - P'	金屋面		2.3	W	
五福	Q - Q'	金屋面		2.0	W	
駒見	R - R'	金屋面		2.3	W	
米田	S - S'	城川原面		3.4	W	

各断面の位置は図3に対応

mm/yr は断層南部付近で算出された値である。

高清水断層では、断層中央部に位置する東城寺にて、富山県 (2000) によってトレンチ調査ならびにボーリング調査が実施されている。これによると、過去2.7万 ~ 2.5万年間の断層運動に伴う上下変位量は約4.4m であり、上下変位速度は0.16 ~ 0.18mm/yr であると報告されている。この値は、本研究で算出した上下変位速度とも矛盾はしない。したがって、高清水断層の第四紀後期における上下変位速度は約0.1 ~ 0.3mm/yr の値が妥当であると考えられる。

砺波平野西縁には全長約10km の法林寺断層が分布する (図1)。河成段丘の変形から算出した本断層の第四紀後期における上下変位速度は約0.1 ~ 0.4mm/yr である (図4、表4)。特に、井口面 (IX面) よりも古い地形面における上下変位速度は約0.2 ~ 0.3mm/年であり、場所によらずほぼ一定である。法林寺断層では、断層中央部の法林寺で実施されたトレンチ調査ならびにボーリ

ング調査によって、0.4mm/yr の上下変位速度が報告されている (富山県、2000)。この値は、本研究で求めた法林寺断層の上下変位速度の上限値である。しかしながら、法林寺は断層全域の中でも変位速度の大きい地域であるので、法林寺断層の最大上下変位速度は0.4mm/yr を大きく上回る可能性は低いと考える。したがって、法林寺断層の第四紀後期における上下変位速度は約0.1 ~ 0.4mm/yr の値が妥当であると考えられる。

金沢平野東縁に分布する森本 - 富樫断層 (図1) の上下変位速度は、断層中央部の野町撓曲で約0.5 ~ 0.8mm/yr である (図5、表5)。本研究では、森本 - 富樫断層中央部 (金沢市街地) でのみ、断層の上下変位速度の算出を行っている。金沢市街地付近では、断層は野町撓曲、長坂撓曲、ならびに野田山撓曲の3条に分岐する。長坂撓曲ならびに野田山撓曲は、野町撓曲よりも有意に上下変位速度が小さいことから、本研究では野町撓曲が金沢市街地付近における森本 - 富樫断層の上下変

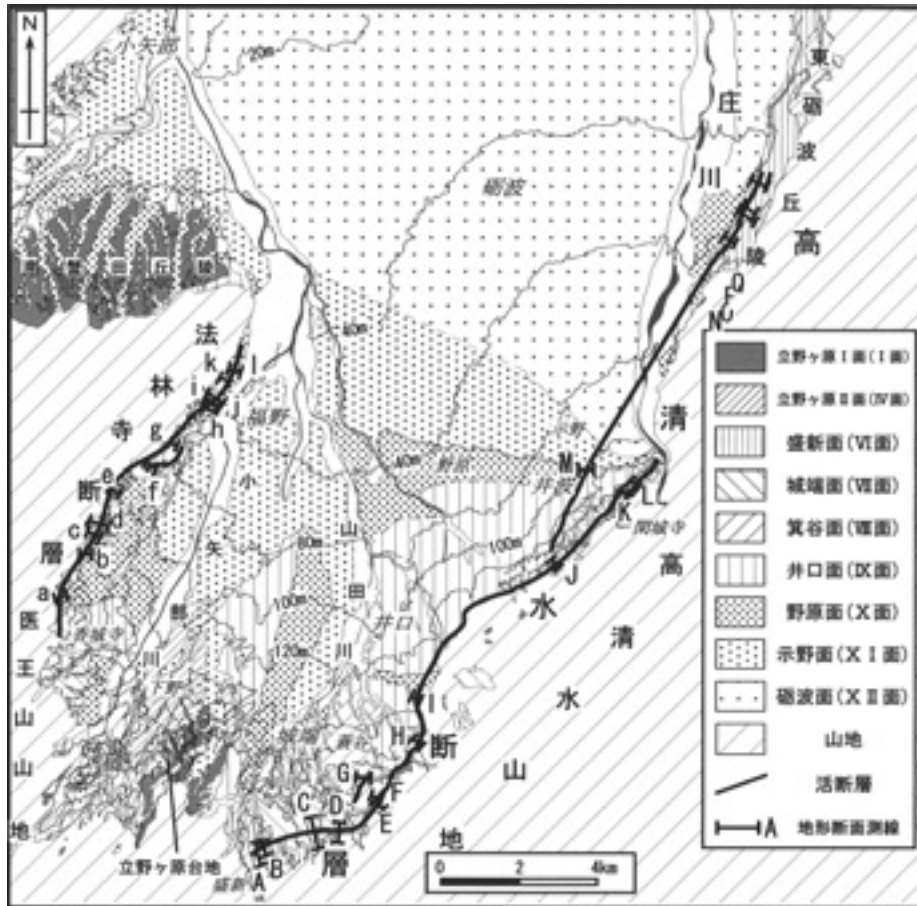


図4 高清水断層ならびに法林寺断層における地形断面測線位置

高清水断層の各種パラメータは表3を、法林寺断層の各種パラメータは表4をそれぞれ参照。詳細な断面位置ならびに断面図は中村 (2002) を参照

位速度を代表しているものとする。

以上をまとめると、本研究地域内の活断層の上下変位速度は地域毎に異なる。各地域の最大上下変位速度を比較すると、魚津断層 (富山平野東縁) ならびに森本 - 富樫断層 (金沢平野東縁) はB級 (0.1~1.0mm/yr) 上位の変位速度を示す。一方、呉羽山断層 (富山平野西縁)、高清水断層 (砺波平野東縁)、ならびに法林寺断層 (同西縁) はB級下位の値を示す。

魚津断層の上下変位速度が呉羽山断層や砺波平野両縁の活断層と比較して大きい理由としては、飛騨山脈の隆起が考えられる。一方で、森本 - 富樫断層の上下変位速度が呉羽山断層等と比較して大きい理由としては、森本 - 富樫断層が同断層の北方に位置する石動山断層に連続し、全長約70kmにおよぶ金沢 - 七尾断層を形成している可能性が挙げられる。しかしながら、金沢 - 七尾断層のセグメンテーション (1回の地震で断層がずれる範囲) 分布は現段階では明らかにされておらず、今後の課題である。

3. 北陸地方東部の活断層と周辺活断層との上下変位速度の比較

北陸地方には、本研究地域以外にも、石動山断層、牛首断層、福井平野東縁断層等の第四紀後期に活動している活断層が分布する (活断層研究会、1991; 図1)。これらの活断層は大きく、主に平野と山地の境界部を限る逆断層 (石動山断層、福井平野東縁断層; ただし、福井平野東縁断層は一部横ずれ成分も伴う)、ならびに主に山地内を走る横ずれ断層 (牛首断層等) に分けられる。ここでは、本研究地域の活断層と同様の特徴を持つ、石動山断層ならびに福井平野東縁断層との上下変位速度の比較を行う。

石動山断層は、能登半島の付け根に位置する邑知潟平野の南縁を限る全長約20kmの活断層である (太田ほか、1976; 池田ほか、2002; 図1)。石動山断層の上下変位速度は、太田ほか (1976) と堤ほか (2000) によって算出されている。太田ほかは、変動崖の比高ならびに変位を受けている地形面の推定形成時期より、石動山断層の

表3 高清水断層の活断層資料表

地点名	測線番号	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)
盛新	A - A'	盛新面	50	9.3	S	0.19
	B - B'	盛新面	50	8.2	S	0.16
打尾	C - C'	城端面	40	8.3	S	0.21
林道	D - D'	蓑谷面	30	7.5	S	0.25
蓑谷	E - E'	蓑谷面	30	2.4	E	0.08
	F - F'	蓑谷面	30	2.9	E	0.10
	G - G'	蓑谷面	30	3.7	E	0.12
西明	H - H'	井口面	20	6.3	E	0.32
次郎丸	I - I'	野原面	10 ~ 15	2.7	E	0.18 ~ 0.27
連体寺	J - J'	蓑谷面	40	4.1	E	0.10
金屋	K - K'	蓑谷面	40	4.7	E	0.12
	L - L'	蓑谷面	40	6.9	E	0.17
栄町	M - M'	蓑谷面	20	3.8	E	0.19
茶木	N - N'	盛新面	50	4.0	E	0.08
福山	O - O'	盛新面	50	5.0	E	0.10
徳万新	P - P'	盛新面	50	3.7	E	0.07
三合	Q - Q'	盛新面	50	2.9	E	0.06

各断面の位置は図4に対応

表4 法林寺断層の活断層資料表

地点名	測線番号	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)
館	a - a'	野原面	10 ~ 15	2.0	W	0.13 ~ 0.20
山本	b - b'	野原面	10 ~ 15	1.7	W	0.11 ~ 0.17
	c - c'	井口面	20	4.3	W	0.22
坂本	d - d'	城端面	40	9.1	W	0.23
	e - e'	井口面	20	6.0	W	0.30
法林寺	f - f'	井口面	20	4.0+	W	0.20
川西	g - g'	城端面	40	3.8+	W	0.10
	h - h'	野原面	10 ~ 15	3.5	W	0.23 ~ 0.35
	i - i'	野原面	10 ~ 15	2.1	W	0.14 ~ 0.21
岩木	j - j'	野原面	10 ~ 15	2.0	W	0.13 ~ 0.20
	k - k'	井口面	20	3.3+	W	0.17
安居	l - l'	野原面	10 ~ 15	2.7	W	0.18 ~ 0.27

各断面の位置は図4に対応

上下変位速度を0.2~0.4mm/yrと算出している。一方、堤ほか(2000)は、縄文海進高頂期(約6ka)にラグーンに堆積したと考えられるシルト層を、断層を挟んだ位置でそれぞれ確認し、その上下変位量から、約6ka以降の石動山断層の上下変位速度を0.8~1.0mm/yrと算出している。太田ほか(1976)ならびに堤ほか(2000)

がそれぞれ算出した石動山断層の上下変位速度には2~3倍程度の差が生じている。堤ほか(2000)も指摘しているように、邑知潟平野周辺では活断層の変位基準となる地形面の形成時期が精度よく算出されているとは言い難く、太田ほか(1976)が算出した上下変位速度は今後修正される可能性がある。したがって、変位基準の年代

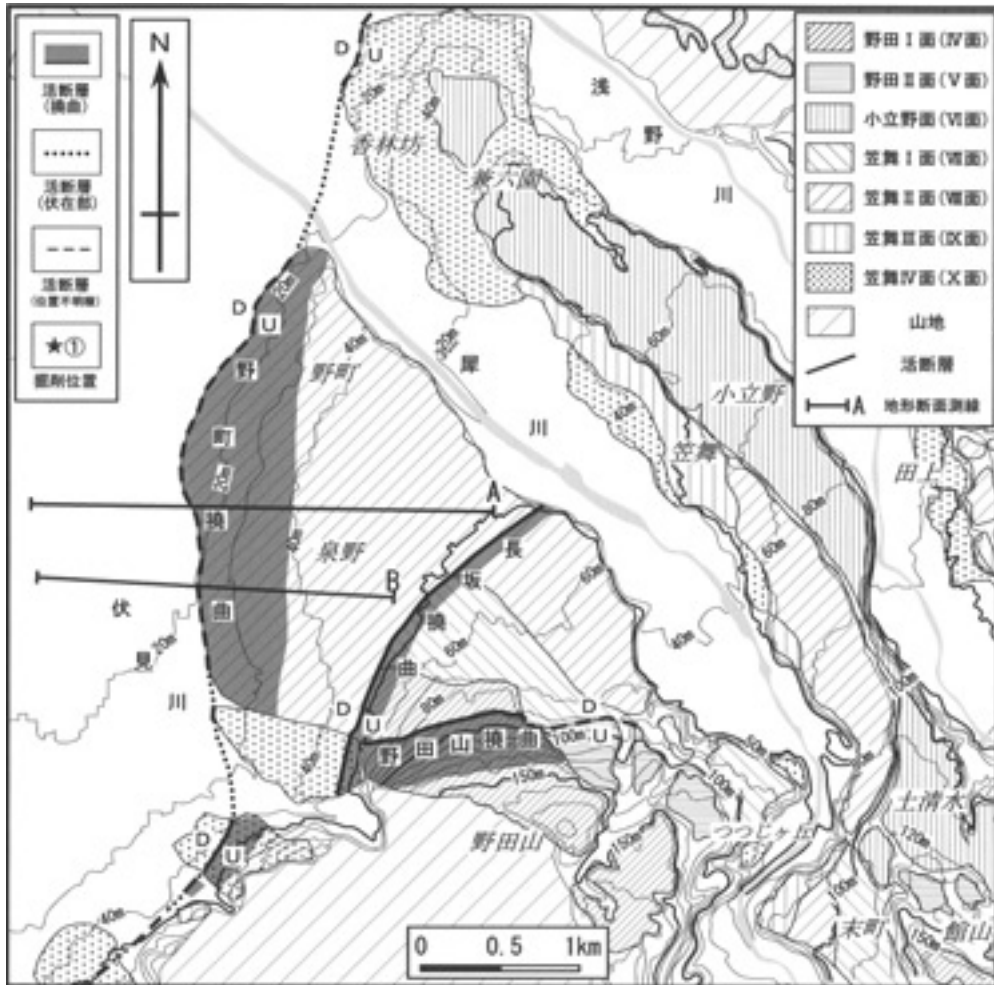


図5 森本 - 富樫断層における地形断面測線位置

森本 - 富樫断層の各種パラメータは表5を参照。詳細な断面位置ならびに断面図は中村ほか（2003a）を参照

表5 森本 - 富樫断層の活断層資料表

地点名	測線番号	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)
泉野	A - A'	笠舞Ⅱ面	25 ~ 30	21	E	0.80
野町	B - B'	笠舞Ⅱ面	25 ~ 30	15	E	0.50

各断面の位置は図5に対応

がやや若いものの、本研究では堤ほか（2000）に従い、石動山断層の上下変位速度を0.8 ~ 1.0mm/yr であるとす。

福井平野の東縁には、NNW 走向（一部は NE 走向）の活断層が南北約25km 東西の約 5 km の範囲に複数分布する（活断層研究会、1991；池田ほか、2002；廣内、2003；図1）。これらの活断層は西から、福井地震断層、見当山断層 ~ 松岡断層（合計 5 条の断層からなる）、ならびに剣ヶ岳断層の大きく 3 列に分割される（廣内、

2003）。廣内（2003）によると、福井地震断層ならびに剣ヶ岳断層は東側隆起の逆断層成分を伴いながらも、左横ずれ成分が卓越した断層であり、これらの断層に挟まれた位置に分布する見当山断層ほか 5 条の各断層は東側隆起の逆断層成分のみが卓越した断層である。これらの活断層のうち、山地側ならびに中央部を走る断層に関しては、同じく廣内（2003）によって上下変位速度が算出されており、それぞれ、約0.1 ~ 0.2mm/yr（山地側）、約0.2 ~ 0.3mm/yr（中央部）の値が得られている。福

井地震断層の上下変位速度は現在のところ算出されていないが、山地側ならびに中央部の断層と同等と仮定すると、福井平野に分布する3列の活断層の上下変位速度の合算値は約0.4~0.7mm/yrとなる。しかしながら、福井平野周辺では上述の邑知潟平野と同様に、地形面の形成時期が精度よく算出されているとは言い難く、廣内(2003)が算出した上下変位速度は今後修正される可能性がある。

以上をまとめると、北陸地方の主要平野を限る逆断層群(福井平野では一部左横ずれ成分を伴う)の上下変位速度は、福井平野(福井平野東縁断層)~金沢平野(森本-富樫断層)~邑知潟平野(石動山断層)を限る各断層、ならびに富山平野東縁を限る魚津断層では、B級上位~A級程度(0.5mm/yr)の値を示す。一方、これらの地域に囲まれた砺波平野の東西両縁を限る法林寺断層ならびに清水断層、富山平野西縁を限る呉羽山断層ではB級下位(0.5mm/yr)の上下変位速度を示す。したがって、北陸地方で山地と平野を分化させている活断層は、地域毎に異なった変位速度でそれぞれ歪の解放を行っているものと考えられる。なお、これらの原因の究明には北陸地方全域における地下での断層構造の解明が必要である。

4. 単位変位量ならびに段丘面の形成時期から見た活断層が起こす地震の再来間隔

ここでは、本研究地域内に分布する活断層が地震を起こす際の再来間隔の見積もりを行うが、その前にいくつかの仮定を示す。まず、断層運動に伴う段丘面の上下変位量の測定の際には、既述のとおり断層の下盤側にのみ堆積する新期の堆積物の層厚を無視する。次に、地震時1回あたりの変位量は毎回同じ値であるとする。さらに、地震の再来間隔はSchwartz and Coppersmith(1984)の固有地震説に従い、ほぼ同一の間隔で地震が起こるものとする(図6)。なお、活断層が地震を起こした際の単位変位量ならびに再来間隔の算出は、各断層における最大上下変位速度、もしくはそれに近い値を示す地域で行う。単位変位量の算出は、最近1~2回分の地震の上下変位量が保存されている可能性が高い、完新世に形成された段丘面の上下変位量を用いて行う。

一方、再来間隔の算出は、酸素同位体ステージ2~5程度に形成された段丘面を用いる。その理由は、1)数千年程度と予想される地震の再来間隔を算出するうえで完新世という期間では短すぎる、2)ステージ6の

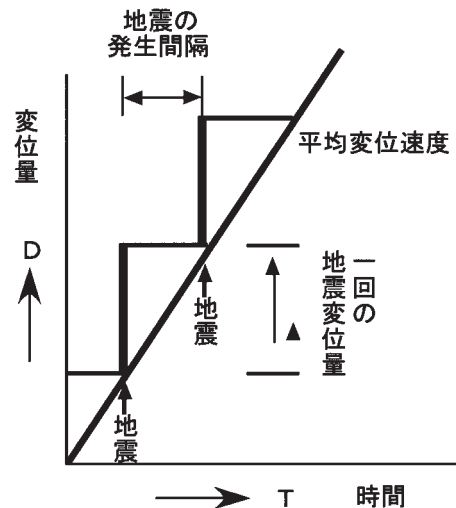


図6 固有地震の概念図

活断層の平均変位速度は累積変位量(本研究の場合上下方向)を変位基準面(おなじく河成段丘面)の形成年代で除することによって算出される。また、トレンチ掘削調査等によって1回の地震変位量が判明している場合には、累積変位量を1回の地震変位量で除することによって、変位基準面におけるこれまでの地震の累積回数が算出される。さらに、変位基準面の形成年代を上述の地震の累積回数で除することによって、地震の再来間隔を推定できる。

河成段丘面は、一般に撓曲帯の幅が広すぎることや、撓曲帯を形成していても浸食によって途中で途切れる場合が多いことから、上下変位量が精密に求められていない可能性がある、の2点である。また、松田(1975)によって求められている断層の長さ(km)と平均変位速度(mm/yr)を用いた経験式($D = 79.4 * L / S$; ただし、 D = 再来間隔、 L = 断層の長さ(km)、 S = 平均変位速度(mm/yr))から算出した再来間隔も参考値として検討する。

4-1 魚津断層(富山平野東縁)

魚津断層において最も上下変位速度が大きい地点は十二貫野付近である(表1)。しかしながら、十二貫野面(I面)はMIS6に形成されたと考えられる段丘面であり、断層は最低でも3条に分岐し、それぞれの断層が幅数100m~1kmにわたる撓曲帯を形成する。また、撓曲帯の途中でI面が途切れてしまうために、上下変位量が精密に求められていない可能性がある。そこで、本研究では、魚津断層内において十二貫野に次いで上下変位速度が大きい、上野において断層運動が起こった際の単位変位量ならびに再来間隔の検討を行う。上野付近では早月川を挟んだ対岸に位置する栗山において、三日市面(XI面)が断層運動によって変位を受けており、上下変位量は約1.7mである(図2、表1)。

表6 北陸地方東部の活断層の上下変位速度ならびに再来間隔一覧

地域	金沢平町東縁	砺波平野西縁	砺波平野東縁	富山平野西縁	富山平野東縁
断層名	森本-富樫断層	法林寺断層	高清水断層	呉羽山断層	魚津断層
断層の長さ	25km	10km	20km	25km	30km
単位変位量	1~2m	1~2m	1.5m	2.0~2.3m	1.5~2.0m
上下変位速度	0.5~0.8mm/yr	0.1~0.4mm/yr	0.1~0.3mm/yr	0.1~0.4mm/yr	0.2~0.9mm/yr
再来間隔	1300~2300年	3300~6700年	5000年	5000~6700年	2000~4200年
再来間隔A	2300~2800年	2700年	5000年	5000~6000年	3100~3800年
再来間隔B	2000年	4200年~6500年	3000~7000年	3000~5000年	n.d

再来間隔は、本研究において河成段丘面の形成年代と累積変位量（上下）から算出したもの。再来間隔 A は、松田（1975）によって求められている断層の長さ（km）と平均変位速度を用いた経験式（ $D = 79.4 * L / S$ ：ただし、 $D =$ 再来間隔、 $L =$ 断層の長さ（km）、 $S =$ 平均変位速度（mm/yr））から算出した。再来間隔 B は、法林寺断層では富山県（2000）によってトレンチ調査によって算出されたものを、森本 - 富樫、高清水、ならびに呉羽山の各断層では、震調査研究推進本部（2001, 2002）によって算出されたものをそれぞれ引用した。

栗山以外の、魚津断層に沿ったXI面の上下変位量は、1.8m（江口）、1.9m（荻生）、1.4m（福島）、ならびに1.6m（新屋）であり（図2、表1）、約1.5~2.0mの範囲に収まる。XI面は完新世に形成された可能性が高いことや、上述の算出地点における断層形態はいずれも低断層崖であり、断層崖の浸食が進んでいないことから、これらは1回の地震による上下変位量を表しているものと考えられる。上野におけるVII面の上下変位量は約25mである（図2、表1）。上野付近では断層は2条に分岐しており、これに山地側の断層の上下変位量を加えると約31mとなる。したがって、1回の地震による断層の上下変位量を1.5mとした場合、VII面はその形成以降に約20回の地震を経験していることになる。VII面の形成時期は、約40~50kaであるので、この場合の再来間隔は約2000~2500年となる。同様に、1回の地震による断層の上下変位量を2.0mとした場合には、VII面はその形成以降に約15回の地震を経験していることになり、再来間隔は約2700~3300年周期となる。なお、VII面形成以降に平野側の断層と山地側の断層が同時に活動している場合には、変位量の小さい山地側の断層の上下変位量は無視できる。その場合の地震の再来間隔は、約2400~3000年（上下変位量が1.5mの場合）、ならびに約3300~4200年（同2.0mの場合）となる（表6）。

以上をまとめると、活断層が地震を起こした際の単位変位量、ならびに段丘面の上下変位量および形成時期から算出した魚津断層の再来間隔は、約2000~4200年となる。なお、魚津断層の長さを30km、上下平均変位速度を0.63~0.78mm/yr（上野における平野側の断層のみの上下変位速度の最大ならびに山地側の断層の最大上下変位速度を加えた場合）として、松田（1975）の経験式

から算出した魚津断層における地震の再来間隔は約3100~3800年であり、本研究で算出した値とは矛盾しない（表6）。

4-2 呉羽山断層（富山平野西縁）

呉羽山断層において、過去数万年間の上下変位速度が最も大きい地点は小長沢付近である（図3、表2）。小長沢付近では、断層は逆向きの撓曲を含めた3条に分岐している。それらのうち、最も丘陵側の撓曲は平岡面（VI面）の累積的な変位を示し、最も平野側の金屋面（XI面）上の撓曲は1回の地震による上下変位量を表しているものと考えられる。小長沢におけるXI面の上下変位量は約2.0mであり（図3、表2）、周辺地域の上下変位量も約2.0~2.3mの値を示す（城川原南方においてもXII面が約3.5m上下変位しているが、撓曲帯の幅が長いことから複数回の変位を受けている可能性があり、今回の検討では除外する）。したがって、以下では呉羽山断層が活動した際の上下変位量は約2.0~2.3mであるとして議論する。

小長沢におけるVI面の上下変位量は約20mである（図3、表2）。したがって、1回の地震による断層の上下変位量を2.0~2.3mとした場合、VI面はその形成以降に約9~10回の地震を経験していることになる。VI面の形成時期は約50~60kaであるので、呉羽山断層が起こす地震の再来間隔は、約5000~6700年となる（表6）。なお、呉羽山断層の断層長を25km（海域は含まない）、上下平均変位速度を0.33~0.40mm/yr（小長沢におけるVI面の上下変位速度）として、松田（1975）の経験式から算出した呉羽山断層における地震の再来間隔は約5000~6000年であり、本研究で算出した値とほぼ同じ値

を示す (表 6)。

4 - 3 高清水断層 (砺波平野東縁)

高清水断層において最も上下変位速度が大きい地点は断層南部に位置する西明付近の井口 (IX面) 面である (図 4、表 3)。本研究では高清水断層における、1回の地震による地形面の上下変位量の測定は行っていない。しかしながら、富山県 (2000) は高清水断層の1回の地震による上下変位量を約1.5mであると報告しており、本研究においてもこの値を用いる。この場合、IX面 (約20ka) はその形成以降に約4回の地震を経験していることになる。したがって、高清水断層が起こす地震の再来間隔は、約5000年となる (表 6)。また、高清水断層の長さならびに上下平均変位速度をそれぞれ、20kmならびに0.32mm/yrとして、松田 (1975) の経験式に代入したところ、本研究で算出した値と同等の約5000年の再来間隔が得られた (表 6)。

4 - 4 法林寺断層 (砺波平野西縁)

法林寺断層 (砺波平野西縁) において、上下変位速度が最も大きい地点は岩木付近である (図 4、表 4)。しかしながら、変位基準となる野原面 (X面) は、その形成時期 (約10~15) の割に誤差が大きいことから、今回は断層中央部の法林寺における井口面 (IX面) の上下変位量 (6m) ならびに上下変位速度 (0.30mm/yr) を用いる (図 4、表 4)。法林寺断層も高清水断層と同様に、1回の地震による上下変位量は測定されていない。ここで、1回の地震による上下変位量を他の断層と同等の1.0~2.0mと仮定すると、IX面はその形成以降に約3~6回の地震を経験していることになり、その再来間隔は3300~6700年となる (表 6)。ただし、この値は1回の地震による上下変位量を精密に求めたものではないので、その誤差は大きいものと考えられる。

また、法林寺断層の長さを10kmならびに上下平均変位速度を0.30mm/yrとして、松田 (1975) の経験式に代入したところ、約2700年という、本研究で得られた値よりも短い再来間隔が得られた (表 6)。なお、本研究で再来間隔を算出した法林寺では、富山県 (2000) がトレンチ・ボーリング調査を実施して法林寺断層の再来間隔の算出を行っている。これによると、法林寺では43,610yr. B. P. から4,860Cal. yr. B. P. までの間に、6回ないし7回の地震イベントが発生し、法林寺断層の再来間隔は約4200~6500年であると報告されている。

4 - 5 森本 - 富樫断層 (金沢平野東縁)

本研究では、森本 - 富樫断層 (金沢平野東縁) においては、金沢市街地付近でのみ上下変位速度の算出を行っている。しかしながら、既述のように野町撓曲が森本 - 富樫断層の上下変位速度を代表していると仮定して以下の議論を行う。森本 - 富樫断層では、東郷ほか (1998) によって縄文海進時 (約6ka) 以降に形成されたと考えられる沖積面が約1~2m上下変位していることが報告されている。変位基準なる地形面の形成時期が非常に新しいことから考えて、この値が森本 - 富樫断層1回の地震による上下変位量を表している可能性が高い。

野町撓曲を形成する笠舞II面 (VIII面) の形成時期を約25~30ka、野町撓曲の上下変位量を約21m (図 5、表 5)、森本 - 富樫断層の地震1回あたりの上下変位量を約1~2mとすると、VIII面はその形成以降に約11~20回の地震を経験していることになり、その再来間隔は約1300~2700年となる (表 6)。また、森本 - 富樫断層の断層長を約25km、上下平均変位速度を0.70~0.84mm/yrとして、松田 (1975) の経験式に代入したところ、約2300~2800年の再来間隔が得られた (表 6)。この値は、本研究で算出した再来間隔の下限に近い値である。

以上の地震時1回あたりの上下変位量や地震の再来間隔等をまとめた表を表 6 に示す。研究地域内の各断層における地震1回あたりの上下変位量には、断層毎に有意な差は認められず、一般に地震の再来間隔は上下変位速度に反比例する傾向がある。また、本研究で算出した地震の再来間隔と松田 (1975) の経験式から算出した再来間隔には一部の断層 (法林寺断層) を除いては大きな矛盾は認められない。今後は、古地震学的なデータがほとんど得られていない呉羽山断層ならびに魚津断層を中心として、トレンチ調査や群列ボーリング調査等を実施して、過去複数回の地震イベントの時期や1回あたりの上下変位量を明らかにし、さらに詳細な地震の再来間隔を検討していく必要がある。

5. まとめ

1). 北陸地方東部に分布する活断層の後期更新世における上下変位速度は、魚津断層 (富山平野東縁) で約0.2~0.9mm/yr、呉羽山断層 (同西縁) では約0.1~0.4mm/yr、高清水断層 (砺波平野東縁) では約0.1~0.3mm/yr、法林寺断層 (同西縁) 約0.1~0.4mm/yr、

- ならびに森本 - 富樫断層 (金沢平野東縁) では約0.5 ~ 0.8mm/yr となり地域毎に異なる。
- 2). 魚津断層の上下変位速度が呉羽山断層や砺波平野両縁の活断層と比較して大きい理由としては、飛騨山脈の隆起が考えられる。一方で、森本 - 富樫断層の上下変位速度が呉羽山断層等と比較して大きい理由としては、森本 - 富樫断層が同断層の北方に位置する石動山断層に連続し、全長約70km におよぶ金沢 - 七尾断層を形成している可能性が挙げられる。
- 3). 北陸地方の主要平野を限る逆断層群 (福井平野では一部左横ずれ成分を伴う) の上下変位速度は、福井平野 (福井平野東縁断層) ~ 金沢平野 (森本 - 富樫断層) ~ 邑知潟平野 (石動山断層) を限る各断層、ならびに富山平野東縁を限る魚津断層では、B 級上位 ~ A 級程度 (0.5mm/yr) の値を示す。一方、これらの地域に囲まれた砺波平野の東西両縁を限る法林寺断層ならびに高清水断層、富山平野西縁を限る呉羽山断層では B 級下位 (0.5mm/yr) の上下変位速度を示す。
- 4). 単位変位量ならびに段丘面の形成時期から見た活断層が起こす地震の再来周期を算出したところ、魚津断層では約2000 ~ 4200年、呉羽山断層では約5000 ~ 6700年、高清水断層では約5000年、法林寺断層では3300 ~ 6700年、ならびに森本 - 富樫断層では約1300 ~ 2700年である。断層毎の地震時の単位変位量に大差は認められないことから、一般に再来周期は上下変位速度に反比例する傾向がある。

謝 辞

本研究を行うにあたって、京都大学大学院理学研究科の岡田篤正教授、竹村恵二教授、ならびに堤 浩之助教授には終始ご指導をいただきました。ここに記して感謝いたします。

引用文献

- 廣内大助 (2003) : 福井平野東縁地域の活構造と地形発達. 地理学評論, 76, 119 - 141.
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編 (2002) : 「第四紀逆断層アトラス」. 東京大学出版会, 260p
- 地震調査研究推進本部 (2001) : 森本・富樫断層帯の評価. 地震調査研究推進本部 HP (<http://www.jishin.go.jp/main/>

[chousa/01dec_morimoto/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/01dec_morimoto/index.htm)).

- 地震調査研究推進本部 (2002) : 砺波平野断層帯・呉羽山断層帯の長期評価について. 地震調査研究推進本部 HP (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/02dec_tonami/index.htm).
- 活断層研究会編 (1991) : 「新編日本の活断層 分布図と資料」. 東京大学出版会, 437p.
- 松田時彦 (1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震, 28, 269 - 283.
- 中村洋介 (2002) : 富山県砺波平野, 高清水断層および法林寺断層の第四紀後期における活動性, 第四紀研究, 41, 389 - 402.
- 中村洋介 : 富山平野東縁, 魚津断層の第四紀後期における上下変位速度分布, 第四紀研究, 投稿中.
- 中村洋介・岡田篤正 : 北陸地方東部 (富山平野 ~ 金沢平野間) における河成段丘面の編年と対比, 日本第四紀学会2003年度総会予稿集, 116 - 117.
- 中村洋介・金 幸隆 (2004) : ローム層の高密度ポーリング掘削に基づく魚津断層南部の第四紀後期における上下変位速度の算出, 地理学評論, 77, 40 - 52.
- 中村洋介・金 幸隆・岡田篤正・竹村恵二 (2003a) : 金沢市街地における河成段丘の形成時期と森本 - 富樫断層帯野町撓曲の第四紀後期における平均変位速度, 活断層研究, 23, 69 - 76.
- 中村洋介・岡田篤正・竹村恵二 (2003b) : 富山平野西縁の河成段丘とその変形, 地学雑誌, 112, 544 - 562.
- 太田陽子・平川一臣 (1976) : 能登半島の海成段丘とその変形. 地理学評論, 52, 169 - 189.
- Schwartz, D. P. and Coppersmith, K. J. (1984) : Fault behavior and characteristic earthquake: examples from the Wasatch and San Andreas Fault zones, J. Geophys. Res., 89, 5681 - 1698.
- 富山県 (2000) : 平成10年度地震関係基礎調査交付金による高清水断層および法林寺断層に関する調査, 成果報告書.
- 富山県 (1997) : 平成7年度呉羽山断層に関する調査成果報告書.
- 東郷正美・池田安隆・今泉俊文・澤 祥・平野信一 (1998) : 森本 富樫断層帯の詳細位置と活動性について, 活断層研究, 17, 72 - 83.
- 堤 浩之・東郷正美・今泉俊文・石山達也・原口 強 (2000) : 石川県羽咋市における石動山断層の地層抜き取り調査. 活断層研究, 19, 21 - 28.

要 旨

火山灰稀産地域であるために、活断層の良好な変位基準である河成段丘面の編年がなされていなかった北陸地方東部において、被覆土壌層中に微量に含まれる広域火山灰層の検出によって河成段丘面の形成年代を明らかにし、それをもとに本地域に活断層の活動性の算出と周辺の活断層との比較、ならびに地震の再来周期の算出を試みた。後期更新世における活断層の上下変位速度は、魚津断層（富山平野東縁；約0.2~0.9mm/yr）ならびに森本 - 富樫断層（金沢平野東縁；約0.5~0.8mm/yr）ではB級上位であるのに対し、呉羽山断層（富山平野西縁；約0.1~0.4mm/yr）、高清水断層（砺波平野東縁；約0.1~0.3mm/yr）、ならびに法林寺断層（同西縁；約0.1~0.4mm/yr）ではB級下位であり、地域によって異なる。単位変位量ならびに段丘面の形成時期から見た活断層が起こす地震の再来間隔を算出したところ、魚津断層では約2000~4200年、呉羽山断層では約5000~6700年、高清水断層では約5000年、法林寺断層では3300~6700年、ならびに森本 - 富樫断層では約1300~2700年である。断層毎の地震時の単位変位量に大差は認められないことから、一般に再来間隔は上下変位速度に反比例する傾向がある。これらの値は、松田（1975）によって得られた断層の長さと同変位速度（最大）を用いた経験式によって算出した地震の再来間隔とも矛盾しない。また、法林寺断層では富山県（2000）のトレンチ調査によって過去約40000年間の地震の再来間隔が求められているが、本研究によって求めた地震の再来間隔とは矛盾しない。

キーワード：北陸地方東部、活断層、平均変位速度、河成段丘面、地震の再来間隔

Late Quaternary Activity and Recurrence Interval of Active Faults in the Eastern Hokuriku Region

A Discussion based on the analysis of deformed fluvial terraces

Yosuke NAKAMURA

Faculty of Geo-environmental Sciences, Rissyo University

Abstract

The eastern Hokuriku region lies across the boundary between the Hida Mountains, 2000 to 3000m above and one of the Quaternary uplifting area in Japan, and the Toyama Trough, -2000m above, and is composed of the Toyama, the Tonami, and the Kanazawa Plains. Fluvial terraces in are widely distributed in the Plain area, and are deformed by NE-SW trending reverse active faults developing between the Plains and the Mountains. We compile the formative age, vertical displacement of fluvial terraces, and the displacement per event of active faults in the eastern Hokuriku region, in order to calculate the vertical displacement of active faults and the recurrence intervals of active faults. From the formative age of fluvial terraces and the vertical displacement of active faults, the late Quaternary average vertical slip rates of active faults in the eastern part of Hokuriku region are, 0.2-0.9mm/yr (Uodu fault), 0.1-0.4 mm/yr (Kurehayama fault), 0.1-0.3mm/yr (Takashozu fault), 0.1-0.4mm/yr (Hohrinji fault), 0.5-0.8mm/yr (Morimoto - Togashi fault), respectively. And, the recurrence intervals of active faults estimated from the displacement per event and the vertical average slip rate of active faults are 2000 ~ 4200yr (Uodu fault), 5000-6700yr (Kurehayama fault), 5000yr (Takashozu fault), 3300-6700yr (Hohrinji fault), 1300-2300yr (Morimoto - Togashi fault), respectively. These recurrence intervals are not inconsistent with previous studies obtained from the trench surveys or drilling surveys.

Keywords: eastern Hokuriku region, active fault, average slip rate, fluvial terrace,
recurrence interval