

# 論文の内容の要旨

## 論文題目

沖積層から検出されたオフフォールトイベントの発生年代  
に基づく大地震の発生履歴の復元と古地震研究上の意義

(Reconstruction of Holocene large earthquake history based on detection and age estimation of coseismic off-fault events recorded in the alluvium and its implication for paleoseismology)

氏 名

丹羽 雄一

人口やインフラの集中する沖積平野では、過去に発生した地震の発生時期や規模に基づく将来の地震発生の長期的な評価を通じて、地震による被害を軽減していくことが求められる。大地震が発生すると、断層直上(オンフォールト)において断層がずれるだけでなく、断層から離れた地点(オフフォールト)では土地の隆起や沈降、液状化、タービダイトなどが発生し得る。従って、古地震履歴をより正確に解明する上で、オンフォールトの現象だけでなく、オフフォールトの現象(オフフォールトイベントとする)にも着目することが重要である。また、沖積平野は地震沈降をはじめとするオフフォールトイベントが人間社会に甚大な被害をもたらす場所である一方、オフフォールトイベントを検出し、それらの発生時期を高時間分解能で推定できる可能性を秘めた場所でもある。すなわち、沖積平野でオフフォールト古地震学的知見を蓄積することで、沖積平野の災害脆弱性評価に貢献していくことが重要である。そこで、本論文は、「オフフォールト古地震学」の立場から古地震の履歴を解明する方法を濃尾平野を研究対象地域として例証した。

第1章では、将来の大地震発生の評価における、古地震学研究、その中でも特にオフフォールト古地震学研究の重要性について述べた。さらに、オフフォールト古地震学研究において沖積平野を対象とする意義についても述べ、研究の目的と論文の構成について述べた。

第2章では、既存研究に基づくオフフォールト古地震学研究の概説を通じて、オフフォールト古地震学研究の課題および、オフフォールト古地震学研究の沖積平野での適用に関する展望を述べた。

第3章では、濃尾平野の地形・沖積層層序や、濃尾平野周辺における既報の古地震イベントについて概説するとともに、濃尾平野の持つオフフォールト古地震学研究対象地域としての意義を論じた。

第4章では、本論文で用いたボーリングコア試料、既存研究による濃尾平野沖積層の堆積相区分の概要、および研究方法を述べた。

第5章では、ボーリングコアの解析結果に基づいて堆積相を詳細に区分し、堆積環境を推定した。

1. 各コアともに下位から内湾・プロデルタ堆積物、デルタフロント堆積物、氾濫原・デルタプレーン堆積物からなり、大局的には完新世デルタの発達に対応した地層のサクセッションが認められる。

2. さらに詳しく見ると、1) デルタフロント堆積物の一時的な細粒化と EC の上昇が認められる、2) 後背湿地堆積物の上位にデルタフロント堆積物が累重する、3) 放棄チャネル堆積物で高 EC 値が認められる、4) デルタフロント堆積物下部の砂質シルト層に強い流れのイベント堆積物が堆積する、などといった定常的なデルタの発達過程だけでは説明のつかない層準が認められる。

第6章では、第五章で指摘された定常的なデルタの発達過程だけでは説明のつかない層準が形成される要因を考察した。

1. 全体として上方粗粒化を示すデルタフロント堆積物中に認められる一時的な細粒化と EC の増加、後背湿地堆積物からデルタフロント堆積物への層相変化、後背湿地堆積物中での汽水～海水生珪藻の産出、および、放棄チャネル堆積物での高 EC 値の原因としては、一時的な相対的海水準の上昇によって浅海域では一時的な水深増加が起こり、陸上氾濫原では海面下への沈水により海水の影響を受ける堆積環境に変化した可能性が挙げられる。また、後背湿地堆積物中で認められる C/N 比の急減を伴う有機質泥層から無機質泥層への層相変化の原因の1つとして、地盤の沈降に伴う湿地の水位上昇により植生が衰退した可能性が挙げられる。イベントの同時性や完新世中期から後期にかけての相対的海水準の低下傾向、測地学資料を踏まえると、これらのイベントの原因として、濃尾平野西部で地震沈降が発生した可能性が挙げられる。

2. 桑名断層上盤側のコアで認められる、デルタフロント到達直後の砂質シルト層中の基底に侵食面を持ち、級化や逆級化を示す砂層が堆積する原因として、強い流れが突入するイベントが起こったことが考えられる。強い流れを引き起こす原因の一つとして津波の可能性を挙げる

ことができる。

3. 現在の氾濫原地域において、氾濫原・デルタプレーン堆積物の堆積時期が平野東部では 2360–2618 cal BP より古く、平野西部では 1967–2182 cal BP より新しいことから、2600～2000 年前に木曾川主流の西方への河道変化が起こった可能性が示される。西方への河道変化の原因の一つとして平野の西方への傾動沈降の可能性が挙げられる。

第 7 章では、第六章で検出されたオフフォールトイベント、あるいはその可能性を示す特徴と既報の地震イベントとの対比を試み、濃尾平野における古地震履歴について考察した。

1. 発生時期の異なる 5 つの地震沈降(600～100 年前, 1300～900 年前, 2600～2000 年前, 4200～3800 年前, 5600～4700 年前)は養老断層の活動に起因する可能性が示され、<sup>14</sup>C 年代値に基づくと、これらすべての活動が養老断層の南側に位置する桑名断層の活動と同時に起こったと考えても矛盾しない。

2. 上記の地震イベントの対比および、桑名断層の南側に位置する四日市断層の活動性の既存の見解を踏まえると、これら三つの活断層が完新世において同一の活動セグメントを構成している可能性が高い。

3. これらを踏まえると、濃尾平野では養老断層系(養老・桑名・四日市断層)の活動による地震の発生が過去 6000 年間に 5 回推定され、養老断層系の平均活動間隔は約 1200 年となる。

4. 桑名断層上盤側で 3000 年前から 1600 年前の間に推定される 2 回の強い流れの襲来イベントは同断層の活動時期と矛盾しないため、2 回のイベントのうち 1 回は桑名断層の活動の際に発生した津波と考えても矛盾しない。イベント砂層が津波堆積物であると断定できれば、約 2000 年前の養老断層系の活動の確実度をより高める証拠となる。津波堆積物と高潮堆積物の識別が今後の課題である。

第 8 章では、濃尾平野の 6 地点(YM コア, KZN コア, KZ コア, KM コア, NK コア, MC コア)において相対的海水準変動を復元し、復元された相対的海水準を汎世界的な海水準と比較することで、完新世の地殻変動の傾向を考察した。

1. 内湾堆積物最上部の EC と内湾堆積物最上部堆積時の水深を近似するデルタフロント堆積物の層厚との間には直線的な関係が認められる。このことと、内湾堆積物の EC が塩分指標になり得る、という既存の見解を踏まえると、内湾堆積物の EC は水深に変換される。

2. 上記から推定された古水深を堆積曲線で示される海底面の標高を足し合わせ、過去 7000 年間の相対的海水準を推定した。相対的海水準は、養老断層系から最も遠い NK コアで最も高く、次いで 2 番目に養老断層系から遠い MC コアで高く、これら 2 地点よりも養老断層系から近い YM, KZN, KZ, KM の 4 地点では低い、という傾向を示す。

3. 汎世界的な海水準の上昇が停滞する 6000～7000 年前以降も養老断層系に近い場所で引き続き海水準が上昇する原因としては、濃尾平野がローカルな地殻変動によって沈降していることが挙げられる。養老断層系から近い地点で認められるこのような相対的海水準の上昇傾向および、養老断層系から離れた地点で相対的海水準が高くなる、という傾向は、養老断層系からの距離が離れた地点では沈降速度は小さく、断層から近づくにつれて沈降速度が大きくなることを示唆する。

4. 上記の議論は、相対的海水準変動を地点ごとに復元することで、養老断層系の活動に伴う

濃尾平野の西方へ傾動沈降が検出できたことを意味する。

5. 今後の課題として、圧密の影響の厳密な評価、ECの古水深指標としての誤差評価や堆積曲線の精度向上が挙げられる。これらの精度を上げることができれば、相対的海水準変動を復元することによって内湾堆積物堆積中の古地震イベントを検出できる可能性がある。

第9章では、8章までに得られた結果を踏まえて、沖積平野においてオフフォールト古地震データが得られた意義を論じた。

1. 沖積層に記録されたオフフォールトイベントに着目することは、地震像の補強、古地震履歴の精度良い推定、より長期間にわたる活動セグメントの検討、を行うことを可能にした、という点で意義深い。

2. 濃尾平野で推定される地震沈降に起因するメートルオーダーの海面上昇は、気候モデルによる21世紀の海面上昇量の予測値に匹敵する。すなわち、沖積平野の災害脆弱性評価の観点から平野の地形形成プロセスを海水準変動と関連付けて理解する際に、地震沈降に起因する相対的海水準上昇は考慮に値する。

これまでにオフフォールト古地震学の立場からの古地震履歴の検討事例がほとんどない沖積平野においてオフフォールト古地震学的知見が得られたことに本論文の意義と独自性があると考えられる。沖積平野におけるオフフォールト古地震学研究の方法論を確立させるために、今後は類似の条件を有する沖積平野においても同様の調査が必要であると考えられる。すなわち、定常的な堆積過程が既知で、歴史記録やオンフォールト古地震学研究による古地震履歴の知見を有する沖積平野において、1)沖積層の分析結果に基づくオフフォールトイベントの検出、2)高密度な<sup>14</sup>C年代測定値に基づくイベントの発生年代の推定、3)検出されたオフフォールトイベントの発生年代に基づく古地震の履歴の解明、といった本論文が提案する一連のイベント検出作業により、オフフォールト古地震学による古地震履歴の解明における成果をあげることが望まれる。