

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 三條 竜平

カルデラ形成噴火は、多量の火山噴出物を広域に堆積させ、全球規模の寒冷化を引き起こすため、火山防災や地球環境変動予測上重要である。しかし、噴火予測研究は進んでおらず、対応は不十分である。また、カルデラを形成した境界断層は「後カルデラ期」に再活動する可能性が指摘され、地震防災上重要であるにも関わらず、境界断層の再活動研究は皆無に近い。本研究は、北海道の赤井川カルデラを主対象として、室内実験と野外調査を組み合わせ、カルデラ境界断層の形成プロセスと境界断層の再活動条件を明らかにしたものである。すなわち、境界断層はカルデラ充填物で埋積され観察不能ゆえ、アナログ砂箱実験によって、その形成過程を再現した。境界断層の再活動は地表を変位させることから、カルデラ内に活断層が分布する赤井川カルデラを調査し、境界断層の再活動の証拠を得た。そして、実験で再現された境界断層の構造を基に、赤井川カルデラ境界断層の 3 次元的構造を推定し、現在の広域応力条件で境界断層が再活動した可能性を示した。

本論文は 6 章で構成される。第 1 章は研究のレビューと背景及び目的である。第 2 章は研究方法の説明である。アナログ砂箱実験では、境界断層の発生と地表変動を同時観察できる装置を独自に開発し、赤井川カルデラの規模と相似となる条件を設定し、カルデラ活動時のマグマ溜まりの深度や収縮量を変化させた。実験は、ベクトル解析による地殻運動の可視化、SfM を用いた DSM の作成、地殻の三次元的構造の発達過程の解釈の順で行なわれた。赤井川カルデラの調査では空中写真判読による断層変位地形と変位基準面のマッピング、テフクロクロノロジーによる変位基準面の編年、断層変位量と平均変位速度の算出が行われた。

第 3 章は砂箱実験の結果と考察である。マグマ溜まりの収縮量が大きくなると、以下の順で境界断層とカルデラ地形が発達することが明らかにされた。

- (1) マグマ溜まり直上の地殻のたわみ変形（ダウンサグ）が発生する。
- (2) マグマ溜まり肩部に砂箱の外側へ傾斜する逆断層（ODRF）が発生する。地表ではダウンサグ域が拡大し、水平運動は伏在 ODRF へ収束していく。
- (3) ODRF の一部が地表に達し、円弧状逆断層が現れ、地表が傾動（トラップドア陥没）する。
- (4) ODRF 全体が地表に達し、環状逆断層が現れ、地表が鉛直下方変位（ピストン陥没）する。
- (5) ODRF の上盤にカルデラ内側へ傾斜する高角正断層（IDNF）が生じ、円弧状正断層が現れ、断層内側ブロックのトラップドア陥没が再発する。
- (6) IDNF の全周が環状正断層となって、断層内側ブロックのピストン陥没が再発する。

本実験の新知見は、1) マグマ溜りの初期収縮に伴いダウンサグ域が拡大し、収縮量が閾値を超えると地表変位が伏在 ODRF 近傍へ収束すること、2) マグマ溜まりの収縮が均一であって

も、ODRF および IDNF の形成初期にトラップドア陥没が生じること、の 2 点である。1) は、カルデラ噴火の前駆現象としてダウンサグ変形の成長を位置づける足掛かりを与え、2) は、報告事例の多いトラップドア陥没を生じさせた地下の断層構造や、マグマ溜まり収縮量を推定するための新たな拘束条件を与える、という点で、カルデラ噴火の発生時期や規模、マグマ溜まりの動態の解明に有用な新知見であると認められる。

第 4 章は、赤井川断層の記載と活動性評価である。同断層は、カルデラの北西縁に分布し、地形的カルデラ縁と概ね平行して弧状に伸びることから、カルデラ境界断層起源と推定した。赤井川断層は 2 段の扇状地面を上下方向に累積変位させること、そのセンスはカルデラ床側沈降であること、扇状地構成層に含まれるテフラの年代から扇面はいずれも 46 ka 以降に形成され、平均変位速度は 0.2 m/kyr 以上であることを示した。46 ka 以降、赤井川カルデラではマグマ溜まりの収縮をもたらす火山噴火の痕跡はないこと、赤井川断層は概ね NE-SW 走向で、この地域の広域圧縮応力軸の方位と直交することから、境界断層の再活動は、広域圧縮応力が原因であり、後カルデラ期に再活動が繰り返されてきたと結論している。

第 5 章では、まず実験結果を基に赤井川カルデラの地下構造を推定した。赤井川カルデラの推定沈降量を実験スケールに換算すると、ODRF のみが生じることから、赤井川断層は北西傾斜の逆断層であるとした。この逆断層に NW-SE 方向の広域圧縮応力が加わることで、断層面を縦ずれ変位させるせん断応力が生じ、再活動に至ったと結論づけた。次に、境界断層の初生的構造の違いが断層の再活動様式に与える影響を論じた。沈降量の大きいカルデラで生じる広角な IDNF は圧縮応力場では横ずれ変位すること、宮城県鬼首カルデラで報告されているテクトニックな再活動がこの例であることを論じた。さらに、カルデラ充填堆積物が厚く、地震が小規模の場合、境界断層の再活動は断層変位地形を形成しないことから、現在知られているよりはるかに多くのカルデラで境界断層の再活動が生じている可能性を指摘した。第 6 章はまとめである。

本研究は、砂箱実験とフィールド調査を組み合わせることで、カルデラ境界断層の形成からテクトニックな再活動に至る過程を示したおそらく世界初の事例であり、カルデラ境界断層の動態の理解を深めることに大きく貢献しており、火山・地震ハザードの評価や地球環境変動予測分野への成果の応用も期待できる。よって本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。

(以上 2214 字)