

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Permian tectonic evolution of proto-Japan: Insights from detrital zircon geochronology and crystal morphology
(ペルム紀原日本の構造進化：砕屑性ジルコン年代及び形態からの洞察)

氏 名 大川 真弘

論 文 内 容 の 要 旨

現在の日本列島の元となった古領家帯などのペルム紀の火成岩類及び古い沈み込み複合岩体を伴う原日本は、顕生代に古太平洋に沿った弧-海溝系として発達したと考えられている。また、原日本は古生代以降に衝突や横ずれ運動といった複数の地殻変動を受けたと報告されている。しかしながら、古生代後期の衝突造山運動及び原日本と古い大陸地塊（例えば、南北中国地塊）との関係については、地質情報（特に、火成岩や変成岩類）が限定的であることから、その要因は明確でない。

古生代後期の火成岩・変成岩類の分布が点的であるのに対して、非変成堆積岩類は東北・西南日本に広く分布しており、前弧陸棚堆積物（南部北上帯、飛騨外縁帯、及び黒瀬川帯の一部）、海盆堆積物（秋吉帯の一部）、付加体（超丹波帯及び秋吉帯と黒瀬川帯の一部）、背弧海盆堆積物（舞鶴帯）に区分される。これらのうち、秋吉帯と舞鶴帯はペルム紀腕足類フォーナの類似性から、ペルム紀中期から後期に同緯度で堆積したと推定されている。加えて、礫岩と砕屑性重鉱物の研究から、秋吉帯と舞鶴帯のペルム紀砕屑物は、共通した後背地を持つことが示唆されている。そのため、秋吉帯と舞鶴帯の後背地について研究することにより、原日本の前弧及び背弧堆積物の後背地やその堆積環境・構造の変化について詳細に議論できると考えられる。

本研究では、新潟県糸魚川地域の秋吉帯及び舞鶴帯のペルム紀砂岩の砂岩組成、砕屑性ジルコンの年代及び形態的特徴について解析・比較した。砕屑性ジルコンの年代データは砕屑物の源岩の年代の特定、年代分布を用いた堆積環境の制約が可能である。また、ジルコンの形状は輸送距離及び輸送時の流体力学的条件による影響を受けることが報告されている。加えて、ジルコンの結晶形態は、母岩に関する情報を補間することが可能である。そのため、ジルコンの長さや幅、伸長、形態といった形状パラメータは、堆積環境や輸送プロセス、母岩の性状について新たな制約を与えることができる。更に、本研究では秋吉帯及び舞鶴帯の既存及び新規の砕屑性ジルコン年代データについて、多次元尺度構成法（MDS）を用いて統計的に比較することにより、各サンプルの非類似度について定量的な評価を実施した。MDSは砕屑物ジルコンの大規模データセットの非類似性について視覚化するための有効なツールであり、近年、砕屑物の起源解析に広く活用されている。これらの結果と既存の研究結果

を踏まえて、秋吉帯・舞鶴帯の堆積場の違いについても考慮しながら、ペルム紀における原日本の構造進化と東アジアの大陸地塊との関係について議論を実施した。

新潟県糸魚川地域の秋吉帯は、石灰岩と玄武岩類からなる石炭紀からペルム紀の青海コンプレックスと、チャート、珩長質凝灰岩、泥岩、砂岩、礫岩からなるペルム紀中期の姫川コンプレックスが分布する。研究対象である姫川コンプレックスは、層序と地質構造から、東部・中部・西部ユニットに区分されている。西部ユニットは下位より暗赤褐色泥岩、チャート、チャート及び珩長質凝灰岩互層、珩長質凝灰岩及び泥岩互層、泥岩、礫岩・泥岩を含む砂岩の順に重なるチャート-碎屑岩シーケンスが認められた。東部及び中部ユニットは類似した層序を示し、下位より珩長質凝灰岩及び泥岩互層、泥岩、砂岩の順に重なっており、暗赤褐色泥岩及びチャートを欠く。また、舞鶴帯は泥岩・砂岩・角礫岩からなるペルム紀中期の虫川層と、火成岩類主体の琴沢火成岩類、変成岩類主体の倉谷変成岩類が分布する。研究対象である虫川層は、砂岩を挟む泥岩を主体とする下部と、角礫岩を主体とする上部に区分される。

姫川コンプレックスの砂岩は、長石質アレナイトと石質アレナイトから構成されており、西部ユニットの砂岩は下位から上位まで長石質アレナイトであるが、東部ユニットでは下位から上位に石質アレナイトから長石質アレナイトに変化しており、長石質成分が増加し、岩片成分が減少する。碎屑性ジルコンは、共通して正規分布に近い単峰型の年代分布を示しており、ペルム紀の年代を70%以上含む傾向が認められた。東部ユニットの一部の砂岩は、先カンブリア紀の年代成分が約5~9%認められた。また、各試料の半数以上は、火成岩起源に特徴的な高いTh/U比(≥ 0.5)を示した。ジルコンは主に結晶面が明確であり、角張ったもしくは僅かにエッジが丸みを帯びた低い円摩度を示す粒子が共通して認められた。

虫川層を含む舞鶴帯の砂岩組成は過去の研究により、ペルム紀からトリアス紀にかけて、石質アレナイト及びワックから長石質アレナイトに変化しており、石英・長石質成分が増加し、岩片成分が減少する。また、虫川層の碎屑性ジルコン年代分布及び形態は、下部と上部で異なる特徴を示した。下部の砂岩の碎屑性ジルコンは、秋吉帯と同様に正規分布に近い単峰型の年代分布を示しており、ペルム紀の年代を90%以上含む一方、その他の年代成分はほとんど含まれていない。また、ジルコン粒子は多くは結晶面が明確であり、角張ったもしくは僅かにエッジが丸みを帯びた形状を示しており、円摩度は低い。上部の砂岩の碎屑性ジルコンは、幅広い(2500-1800, 500-270 Ma)年代成分を含んでおり、ペルム紀の年代は8~17%と少ない一方、先カンブリア紀の年代成分を29~42%含む特徴を示した。なお、多くの粒子が丸みを帯びており短く、結晶面は不明瞭であり、高い円摩度を示した。また、各試料の半数以上は、火成岩起源に特徴的な高いTh/U比(≥ 0.5)を共通して含む特徴を示した。

秋吉帯と舞鶴帯の新規及び既存の碎屑性ジルコンデータは、年代と形態的特徴から、これらは大きく2つのグループ(グループA, B)に区分されることが示された。グループAは秋吉帯と一部の舞鶴帯の試料から構成されており、これらは堆積時期に近い古生代後期の年代を主体としており、粒子は角から亜角状を呈する。グループAの年代分布・形態は収束したプレート縁に分布する前弧及び背弧堆積物と同様の特徴を示しており、MDS分析により、これらのジルコン年代成分は、互いに近接したグループに属する。一方、グループBは一部の舞鶴帯の試料から構成されており、古生代から先カンブリア紀の幅広い年代を含んでおり、多くの粒子は丸みを帯びた形状を示す。更に、一部の試料の年代分布や形態的特徴は、衝突帯の堆積物と類似した特徴を示した。MDS分析から、これらは、互いに近接しており、グループAのジルコン年代成分とは離れた分布を示している。虫川層の碎屑性ジルコン年代・形態の変化は、後背地がペルム紀中期に衝突帯に変化したことを支持する。

碎屑性ジルコンの年代、Th/U比、形態的特徴を踏まえると、グループAの砂岩は互いに類似した供給源を持つと共に、供給源が堆積場の近くに位置していたと考えられる。そして、後背地には古生代

後期に活動した火成弧（海洋内島弧）に由来する舞鶴帯南帯の火成岩が主に分布しており，これらは恐らく侵食の直前に地表に露出し削剥され，堆積場に短い時間で直接輸送されたと考えられる．舞鶴帯と秋吉帯のペルム紀砂岩組成は，それらが火成弧起源であることを支持する．ただし，舞鶴帯と秋吉帯のグループ A の砂岩の円磨度と伸長は僅かに異なっており，秋吉帯のジルコンの円磨度と伸長は，舞鶴帯と比較すると高い値を示す．秋吉帯と舞鶴帯の砂岩組成・堆積環境の違いを踏まえると，舞鶴帯の碎屑物は輸送距離が短くかつ流体力学的作用が弱い静かな浅海で堆積したのに対して，秋吉帯の碎屑物は火成弧から海溝に至る長距離の輸送及び輸送時に海洋環境で強い流体力学的作用（乱泥流や土石流などの重力流による運搬作用）を受けた可能性が示唆される．

グループ B の砂岩は互いに類似した供給源を持つと共に，古い大陸地塊を含む複数の供給源を持ち，1 回もしくは複数の堆積サイクルを伴う長い輸送距離及びあるいは輸送時に強い流体力学的作用を受けた可能性がある．更に，碎屑性ジルコンの年代及び形態的特徴から，グループ B の砂岩は，舞鶴帯北帯・南帯及び北中国地塊の構成岩類など，複数の供給源から供給されたと考えられる．砂岩組成からも，舞鶴帯の後背地は古い大陸地塊や火成弧などの複数の供給源に変化したことを支持する．舞鶴帯の堆積学的・岩石学的・地球化学的研究を踏まえると，舞鶴帯のグループ A の砂岩は，静かな浅海環境で堆積したのに対して，舞鶴帯のグループ B の砂岩は，背弧海盆（舞鶴海盆）の閉鎖に伴う斜面の崩壊と短い輸送距離に特徴される土石流による輸送及び，古い大陸地塊の構成岩類の長距離輸送を被ったと考えられる．そして，これらの変化は，原日本及び東アジアにおいて，ペルム紀に衝突に伴う造山運動が生じたことを支持する．

これまで，ペルム紀の原日本の古地理及び古い大陸地塊との関係について，北中国地塊もしくは南中国地塊周辺，古い大陸地塊から離れた島弧など，複数の構造モデルが提案されてきた．しかしながら，本研究の結果は，ペルム紀に東アジア東縁部にて，島弧-背弧-大陸縁システムが形成されたことを支持する．既存の研究結果を踏まえると，前弧側の沈み込み帯は Jiamusi-Khanka-Bureya block から原日本を經由し，南中国地塊に続いた可能性がある．一方，北中国地塊と CAOB の境界部を示す Solonker Suture Zone の延長は，舞鶴海盆まで続くと示唆される．原日本はペルム紀中期に北中国地塊に衝突・縫合を開始すると共に，前弧及び背弧側に大量の碎屑物を供給した．大陸側の碎屑物の前弧側への供給は，背弧海盆によりトラップされると共に，火成弧の隆起帯により碎屑物がブロックされた可能性が示唆される．ただし，舞鶴帯と秋吉帯の一部の砂岩の碎屑性ジルコン年代の類似性は，大陸地塊由来の碎屑物が，前弧側に僅かに供給されたことを支持する．火成弧の急激な隆起及び削剥は，ペルム紀からトリアス紀の砂岩組成の変化からも示唆されている．これまで，火成弧の隆起及び削剥を伴う後背地変動の要因は不明であった．しかしながら，本研究の結果は，前弧堆積物に認められた後背地変動の要因が，原日本の東アジアの大陸地塊への衝突・縫合に由来することを支持する．