

「ユーラシア(超)大陸の構造と形成に関するワークショップ」報告

金尾政紀*

Report on workshop “Structure and evolution of Eurasia (super-) continent”

Masaki Kanao*

(2004年6月28日受付; 2004年8月4日受理)

Abstract: A workshop on “Structure and evolution of Eurasia (super-) continent” was held on 23rd February 2004, at the National Institute of Polar Research with 29 participants. This provided an opportunity to review the history of amalgamation and breakup of past super-continent in the Earth’s evolution, and speculate on the possibility of future super-continent formation. The largest continent on the present Earth, Eurasia, has been formed from an assembly of several sub-continental blocks including Asia, India and Europe, etc: it is also considered to be the nucleus of a future super-continent expected to form 250 m.y. after the present. In this workshop, several interesting topics were presented regarding the formation process, structure and dynamics of Eurasia, in particular in the deep crust and upper mantle. The first half of the workshop covered structural geology, shallow and deep seismic structure, and a simulation model of the Himalaya-Tibet region, known as a typical ongoing continent-continent collision zone. Inner crustal deformation of Eurasia was demonstrated by a newly developed Discrete Element method. In the latter half of the workshop, the possibility of formation of a future super-continent in the Western Pacific Triangular Zone was introduced with geological interpretation associated with an origin of the hot super-plumes. Seismic tomographic studies, particularly in China, which have revealed interesting features such as low velocity anomalies beneath the volcanic area, together with the presence of subducting Indian plates beneath the Tibet region were introduced. In the northwest Pacific region, remnant subducted slabs of the Kula plate have been found by local seismic tomography. Finally, a review of continental dynamics from gravity studies, and broadband seismic observations in the Baikal rift zones, were presented associated with the tectonics and evolution of central Eurasia. The formation mechanism of a hot super-plume in the deep interior of the Earth, such as at the Core-Mantle Boundary, together with an upwelling process into the upper mantle, were discussed in relation to the development of super-continent.

要旨: 平成16年2月23日に国立極地研究所講堂にて、「ユーラシア(超)大陸の構造と形成に関するワークショップ」が開催された(参加者計29名)。地球の進化を振り返りさらに将来の予測をする上で、かつての超大陸の離散集合の歴史を理解することは重要である。現在世界最大の面積を占めるユーラシア大陸は、アジアを核にインド・ヨーロッパ等の複数の地塊が集合して形成され、さらに数億年先には次の超大陸へ成長すると考えられている。本研究会では、ユーラシア大陸の

* 情報・システム研究機構国立極地研究所, National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

形成過程や地殻~上部マントルの構造とダイナミクスに関連した、これまでの地球科学的諸成果の発表と情報交換を目的とした。集会の前半は、典型的な大陸と大陸の衝突帯として知られているヒマラヤ~チベット地域の基盤~地殻深部構造、また衝突帯の形成過程を解明するための個別要素法によるシミュレーションの紹介もあり、大陸衝突に伴うユーラシアの内部変形について斬新な成果が報告された。後半は、将来の超大陸形成のフロンティア地域として考えられている、西太平洋三角地帯直下の上部マントルへの吸水機構について詳しい地質学的考察がなされた。また、汎地球~局所的な空間スケールでの地震波走時トモグラフィーにより、中国やオホーツク海地域の地殻~上部マントルの構造と、地震活動や火山活動との関連についても最新の発表があった。最後に、重力研究からみた大陸のレオロジーやダイナミクスに関するレビュー的報告、またシベリアクラトン~バイカルリフト帯の深部構造と広帯域地震観測についても紹介があった。総合討論では、超大陸の形成と分裂様式に関連して、地球深部のコア・マントル境界におけるスーパーホットプルームの形成メカニズムと、そのホットプルームの上部マントルへの伝導機構について活発な議論がなされた。

1. はじめに

「ユーラシア（超）大陸の構造と形成に関するワークショップ」が平成16年2月23日に国立極地研究所講堂にて開催された（表1）。地球表層部の進化過程を考える上で、かつての超大陸の離散集合の歴史を紐解き、さらに将来の予測をすることは重要である。ユーラシア大陸は、アジアを核にインド・ヨーロッパ等の複数の大陸地塊が集合し、現在世界最大の面積を占めている。さらに数億年先には、オーストラリアや北アメリカ等が集積して、新たな超

表1 「ユーラシア（超）大陸の構造と形成に関するワークショップ」プログラム
Table 1. Program of workshop “Structure and evolution of Eurasia (super-) continent”.

平成16年2月23日（月） 13:00-18:00

■はじめに（ユーラシア大陸研究の地球科学的意義と集会の概要）:

➤ 金尾政紀（極地研）

■中国雲南省麗江盆地の基盤構造とテクトニクスについて:

➤ 赤松純平（京大・防災研）・西村敬一（岡山理科大）・中村佳重郎（京大）・駒澤正夫（産総研）
➤ 矢野孝雄（鳥取大）・盛川 仁（東工大）

■ヒマラヤ~チベット域の深部地震探査—INDEPTH—成果の紹介:

➤ 金尾政紀（極地研）・L.D. Brown（コーネル大）

■インド衝突モデルの個別要素法シミュレーション:

➤ 山田泰広・田中篤史・松岡俊文（京大・社会基盤工学）

■西太平洋三角地帯; 超大陸形成のフロンティアとマントルへの吸水口:

➤ 丸山茂徳（東工大・地球惑星科学）

■ユーラシア大陸の地殻・マントル構造と地震・火山活動:

➤ 趙 大鵬（愛媛大・地球深部ダイナミクス研究センター）

■Remnant subducted slabs of the northwest pacific region revealed by seismic tomography:

➤ Alexei Gorbатов（固体地球統合フロンティア研究システム・海洋科学技術センター）

■重力による大陸ダイナミクス研究の現状:

➤ 田中俊行（東濃地震科学研究所）

■シベリアクラトン~バイカルリフトの深部構造と広帯域地震観測:

➤ 金尾政紀（極地研）・V.D. Suvorov（ロシア科学アカデミー）

■総合討論

大陸を形成することが予想されている。現在のユーラシアは、先カンブリア時代のいくつかのクラトンを核に、縁辺部の沈み込み帯や大陸—大陸衝突帯、さらには内陸域のリフト帯等を含むことから分かるように、様々なテクトニック年代を持つ大陸地塊が複雑に絡み合い形成されている。従って、ユーラシア大陸の現在の構造とその形成過程を研究することで、地球史における大陸の成長過程の一端を理解することができる。

本集会では、ユーラシア北部のかなりの面積を占める北極域~シベリアをはじめ、チベット高原~ヒマラヤ山脈の高山域、中国・インド・中東等の亞大陸地塊並びにそれらの縫合部、さらに環太平洋の新生代造山帯、といった各々の地域を中心に、現在の地殻~最上部マントルの構造とダイナミクス、またユーラシア大陸の形成過程に関連した地球科学的な諸成果の情報交換を目的とした。具体的には、ユーラシア全域の地質構造、地震火山活動、地震波等による特徴的な構造、さらに科学的目的を達するための現地での調査研究の紹介を含む。また、GPSや衛星観測に基づくプレート運動や大陸の内部変形、マントル対流やトモグラフィーに関連した研究、さらにはリソスフェアのレオロジー的考察、ユーラシア大陸の形成過程と構造を理解するための学際的な議論を行った。

2. 経 過

前半は主に、現在地球上でみられる典型的な大陸—大陸衝突帯であるインド~ヒマラヤ~チベット域についての講演である。具体的には、中国雲南省麗江盆地の基盤構造、ヒマラヤ~チベット域の深部地震探査の紹介、さらに大陸衝突モデルの個別要素法によるシミュレーション等の発表が行われた。また後半は、将来の超大陸形成のフロンティアとしての西太平洋三角地帯直下の上部マントルへの吸水機構についての地質学的考察、また汎地球~局所的な地震波トモグラフィーの手法による、主に中国域の地殻・マントル構造と地震・火山活動についての最新の成果発表である。さらにオホーツク海地域における北西太平洋プレートのシベリア下への沈み込み様式が、トモグラフィー手法により紹介された。最後に、重力研究をベースにした大陸リソスフェアのダイナミクスについてのレビューと、シベリアクラトン~バイカルリフト帯の地震学的な深部構造と広帯域地震観測についても話題が提供された。

以下、各講演の内容について個別に紹介する。

はじめに (金尾講演):

冒頭に主催者(著者)により、ユーラシア大陸研究の科学的意義と集会の概要が説明された。ユーラシア内の地震・火山活動の特徴として、太平洋の沈み込み帯やヒマラヤ~アルプス造山帯以外の内陸域、例えばバイカルリフト帯やアルタイ~クンルン等の中央山脈群にまで地震活動が広く分布することが示された。次に、ロシアを中心に深部地震探査によるユーラシア全域の地殻の厚さ分布が紹介された。さらに地震発生メカニズムや岩盤ボーリング、構造地質学的考察を元にしたリソスフェアの応力分布 (Sherman and Gladkov, 1999) からは、

ユーラシアの中部~南部を中心に南北方向の圧縮場が広範囲に卓越し、その中に剪断応力を伴う伸張場が点在することが示された。内陸部での伸張場の原因の解明は、アムールプレートに代表されるユーラシア内部の局所的な変形や、上部マントルの温度構造に関連して重要である。

次に地震波によるユーラシア直下の上部マントル構造に関して、表面波トモグラフィーによる地震波速度分布 (Ritzwoller and Levshin, 1998) が紹介された。例えば、モンゴル直下の最上部マントルでの低速度領域は、さらに深い部分の上部マントルを起源とするホットブルームの影響が指摘された。またロシアによる核実験の平和的利用データ (Peaceful Nuclear Explosion: PNE) を用いた、シベリアを東西に横切る約 4000 km の超長距離測線での深部地震探査 (Morozova *et al.*, 1999) からは、西シベリア低地のリソスフェア下部に水平方向で 1000 km 以上の低速度層が確認された。この層の解釈として、その下の上部マントル (テクトスフェア) が部分溶融し、リソスフェア内に貫入し水平に広がったモデルが示された。

中国雲南省麗江盆地の基盤構造とテクトニクスについて (赤松講演):

1996 年麗江地震 (M 7.0, 02/03/1996) は、雲南省を中心に死者 309 人、負傷者 17000 人余、家を失った者 18 万人の被害をもたらした。この地震と被害の現地調査が日中共同で行われ、麗江盆地における特殊な被害分布が明らかにされた (赤松ら, 1996)。さらに、この地震と被害の関係をマイクロゾーニングの観点から調べるために、雲南省地震局との共同で麗江盆地の地下構造調査が種々の物理探査手法により行われた。その結果、盆地の堆積層の厚さは 1500 m あるいはそれ以上に達することが確認された。盆地境界での二次的生成波による干渉や焦点効果等の、急峻な盆地境界の基盤構造による特徴的な波動伝搬特性や、盆地内の断層帯の弱線の影響等が被害集中の原因と考えられる。

雲南省では 9 世紀後半以降、M 4.7 以上の地震が 450 回発生し、新生代特に第四期以降の断層運動と密接に関係している。インドとアジアの衝突がチベット東部を南東方向へ押し出し、この地域の地震テクトニクスと造構運動を支配している。1996 年麗江地震の余震分布は南北に約 40 km と長く、初動の押し引き分布や遠地実体波の波形インバージョンによるメカニズム解から、主張力場はほぼ東西である。麗江盆地をはじめこの地域の盆地は南北に長く、雲南高原がチベットからの「押し出し」による南南東方向の造構運動に起因すると考えられる。また、約 200 万年続いた雲南高原の上昇は、この「押し出し」だけではなく、地殻内部の低速度層に沿った「重力滑り」も重要な要因と指摘されている (Yano and Wu, 1999)。

ヒマラヤチベット域の深部地震探査—INDEPTH—成果の紹介 (金尾講演):

現在地球上で最も顕著な大陸—大陸衝突帯であるヒマラヤチベット地域の、地殻深部~上部マントルの構造とテクトニクスを調べる国際共同地震探査計画 (Lithospheric Structure and Tectonics of Central Tibet from Integrated Deep Seismix: INDEPTH) の成果が紹介された。反射法地震探査からは、インド大陸地殻がチベット地殻の下に潜り込む境界面 (Main

Himalaya Thrust: MHT) の北下がり傾斜が明瞭にみられ、インド地殻のモホ面を合わせたいわゆる二重モホ面 (double thickened Moho) が確認されている。MHT より北側のヒマラヤ域の上部地殻には、強い褶曲構造を示す反射層があるのに対し、さらに北部のチベット中部では「Bright Spot」と呼ばれる強い反射層が地殻内に確認されている (Nelson *et al.*, 1996)。この「Bright Spot」はチベット全域に広範囲に分布し、地震波形の特徴や電磁気探査から液体の存在が考えられ、マグマの部分溶融である可能性が大きい。

またチベット中部の縫合帯 (Banggong-Nujiang suture) を横切る南北測線で、広帯域地震計によるアレイ測線が展開された。その地震波走時トモグラフィ解析からは、北上するインド・リソスフェアの先端が、チベット高原下での 410 km 深の地震波不連続面まで急角度で沈み込む様子が明らかになり、あたかもマントル内の縫合帯 (Mantle suture) のようにみえる。またレシーバ関数 (地殻の応答) 解析からは、上部マントルの 410 km 深、660 km 深の地震波不連続面の形状が測線全域で深さ方向に均一で、上部マントル遷移帯の深さでは速度の揺らぎが比較的少ない。このことから、沈み込むインド・リソスフェアの影響が 410 km 不連続面よりも浅い上部マントルの部分に限られることが示唆される。

インド衝突モデルの個別要素法シミュレーション (山田講演):

インドとアジアの衝突に伴うユーラシア内部の変形様式を理解するため、個別要素法 (Discrete Element method; DEM 法) による二次元数値シミュレーションが紹介された。通常の変形過程研究で行われてきた砂等の粒状体材料によるアナログモデルに対し、境界条件や材料物性に大きな自由度を与えるためには DEM シミュレーションが有効である (例えば、Yamada *et al.*, 2003)。今回は下部地殻から上部マントルの挙動を延性的にモデル化し、延性項の数値を変化させて考察した。シミュレートした粒子内での弱線の形成を防ぐため、粒子径は平均値から 40% の範囲でばらつきを持たせた。また初期構造モデルでは、衝突の影響が及ぶ大陸塊の右端 (東端) と下端 (南端) のみが自由に変形する場合を考察した。

シミュレーション結果から、衝突体の前進に伴い衝突体の左隅から大陸塊の右端に向けて左横ずれ断層系の形成が確認された。この断層系によりブロック化した小大陸は時計方向に回転を行う。また大陸塊の右端 (東端) は衝突体の前進に伴って外側に移動し、膨らんだ形態を示すと同時に衝突体の前縁部は薄層化した。全体の形態や断層系の形状、断層に伴う堆積盆地の形成等の形態の特徴は、アナログモデル実験で見られた特徴と共通する。今回の実験で抽出した粒子応力・速度は、東アジアで実際に測定された GPS・応力データと比較すると非常に不均質で不安定である。シミュレーションの延性変形パラメーターをさらに強くした場合でもこの特徴を示すため、実際のインドとアジアの衝突では下部地殻~マントル部分の「延性変形」的な挙動の影響が強いこと、また上部地殻では応力場が容易に変化することが考えられる。

西太平洋三角地帯; 超大陸形成のフロンティアとマントルへの吸水口 (丸山講演):

将来の超大陸形成のフロンティアとして考えられている、西太平洋三角地帯直下の上部マントルへの吸水機構について地質学的考察がなされた。顕生代(古生代~現在)以降にマントル温度が低下し、海水を多く含んだ海洋性プレート(スラブ)が上部マントル深部にまで沈み込むこと(「海水の逆流」)が開始され、現在までの過去1億5千万年の間に上部マントル中の410 km 深と660 km 深の地震波不連続面の間に大量の水に富む「水がめ」が形成された。水の役割の一つとしてマントルソリダスの温度を低下させる。例えば200 kmの深さで含水量が0.1%の場合、ソリダス温度は約250°C低下する(Iwamori, 2000)。また、 10^2 – 10^3 ppm 程度の水を含むオリビン(かんらん石)では、無水の場合に比べて粘性が 10^{20} (Pa·s) から 10^{18} (Pa·s) にまで低下し(Jung and Karato, 2001)、マイクロプレートが形成されやすくなる。西太平洋三角地帯は現在地球上の大陸が集積している唯一の場所であり、実際に多くのマイクロプレートが集中している。また多数の島弧が形成され活発な火山活動も広範囲に分布している。

次に、スーパーブルームの形成に関する一つのモデルが紹介された。地球史における大陸の離散集合の過程をもとに将来の超大陸形成の予測をする場合、超大陸直下は地球上で最も低温度のマントルが存在し、かつ大量に沈み込むスラブにより高い含水量を持つと考えられる。そのため超大陸が形成された縫合部が、再度2億5千年以内に分裂の中心になることが多い。この超大陸中心部における冷たいマントルの下降流(cold mantle turn)から、分裂を起こすための熱いマントルの上昇流(hot mantle turn)に転換する原因としては、温度や化学的相変化よりも水の存在が一番の可能性として考えられる。410 km–660 km 深のマントル遷移層において高い含水量を持つ滞留したスラブの多くが脱水反応を起こし、水に富む液体をマントル遷移層に開放し、その下のマントルとの熱対流により水化したブルーム(Hydrous plume)が生じる。この過程を通じて超大陸直下の水化したマントル遷移層からスーパーホットブルームが生成される。この表層部(上部マントル)で生成されたホットブルームがさらに発達し、マントル最下部(CMBやD”層)の動きを制御すると考えられる。また、外核からの熱によりマントル最下部に生成したホットブルームがマントル中を発達しながら上昇し、逆に上部マントルの動きを制御するという考え方も示された。

ユーラシア大陸の地殻・マントル構造と地震・火山活動(趙講演):

汎地球~局所的な地震波走時トモグラフィ手法により、主に中国域の地殻・マントル構造と地震・火山活動に関する研究成果が発表された。まず、最新のグローバル地震波トモグラフィモデル(Ehime-2004)の概要が示された(Zhao and Lei, 2003)。手法としては、通常用いられる3次元ブロックの代わりに格子点網(grid nodes)を使い、波線追跡法により地震波線と走時を計算する。また直達P波以外のpP, PP, PcP, Pdif等の後続波も用い、モホ面や410 km 深と660 km 深の不連続面の形状の深さ変化も考慮する。Ehime-2004モデルにより、

太平洋プレートが中国直下に沈み込み 660 km 不連続面の上に広範囲で滞留する様子や、インドがチベット直下の上部マントルに急角度で沈み込む様子が明らかにされた。

次に、中国東北部にある長白山活火山や五大連池火山の深部構造が、遠地地震トモグラフィによる地震波速度分布を元に考察された。長白火山等の直下約 400 km 深に低速度領域が存在し、水平方向にも約 200 km の幅を持つことが示された。従って長白火山等はホットスポットではなく、太平洋スラブの沈み込みとその先のマントル遷移層での停滞（横たわり）と関係する、一種の背弧火山と示唆される。従ってこの地域では、太平洋プレートとユーラシアプレートとの境界は幅約 1000 km にも及ぶと考えられる。

また雲南省騰冲火山の深部構造について、局所地震を用いたトモグラフィ研究がなされた (Huang *et al.*, 2002)。その結果、この騰冲火山も長白山活火山と同様ホットスポットではなく、インドアプレートがビルマ・マイクロプレート下への沈み込みにより生じたと考えられ、島弧火山と類似した性質を持つ。最後に、局所地震トモグラフィから推定された中国北京地域の地殻構造が紹介された。内陸大地震の発生と地殻内の速度不均質が密接な関係があることが指摘された。また、雲南省と北京地域の内陸大地震発生には、地震波低速度層に存在する地殻内流体の影響が大きいことも示唆された。

Remnant subducted slabs of the northwest pacific region revealed by seismic tomography (Gorbatov 講演):

北西太平洋地域における沈み込む海洋性プレートの様子が、地震波トモグラフィにより明らかにされた。太平洋プレートの沈み込みに関連するアリューシャン列島下の高速度異常は、深発地震面（和達・ベニオフゾーン）より深くまで広がっている。また、ベーリング海直下にある 660 km 深の不連続面直上に、水平に広がる高速度異常が確認された。この高速度異常はその北端が 70°N まで伸び、約 48 Ma に消失した Kula プレートの残骸と考えられる。さらに、沈み込む太平洋プレートと Kula プレートの残映と思われる高速度域との間には顕著なギャップが確認され、その空間的な位置から海底の地磁気異常 (Lonsdale *et al.*, 1988) から提唱されているかつての Kula プレートの拡大軸（海嶺）と考えられる。

また、オホーツク海とチュコト半島のそれぞれの直下 300–660 km の深さにも高速度域がみられる。前者では 660 km 深の地震波不連続面に沿うスラブの滞留であるのに対し、後者では 660 km 深の不連続面を突き破りさらに 800 km 深まで潜り込んでいる。オホーツク海直下の高速度異常は、約 55 Ma にシベリア地塊に付加したオホーツクプレートの沈み込んだスラブの残骸と解釈される。それに対して、チュコト半島下の高速度異常は南西傾斜を示し、通常の北西太平洋地域の沈み込み方向とは異なる。こうした方向の異なる沈み込み様式が、カムチャッカ半島の北部で多く発達していることが古地磁気学的研究（例えば、Kovalenko and Kravchenko-Berezhnoy, 1999）により示唆されている。

重力による大陸ダイナミクス研究の現状（田中講演）:

重力や GPS 等の測地学的手法を用いた大陸リソスフェアのダイナミクス研究のレビューが行われた。大陸リソスフェアの変形は、一般的に「剛体プレート運動」と「それ以外の成分」とに分けて考えられている。プレートテクトニクスは前者を主とするが、近年の宇宙測地観測技術の進歩とその観測点の高密度化は、後者の複雑な時空分布を捉えつつある。リソスフェアの変形メカニズムを知るためには、対象地域に固有のリソスフェアの粘弾性の特徴を知ることが必要であり、そのために重力データが重要な役目を果たす。大陸の変形過程は、「プレート境界に働く力」に加えて「重力ポテンシャルエネルギー（Gravitational Potential Energy: GPE）」に由来する内部応力、さらに「大陸プレートにおける粘弾性の不均質性」が重要な要素である。GPE はジオイドとも関連し、ある深さの基準面まで垂直応力を積分した量として定義され、密度や地震波速度の構造が得られている場所では推定可能である（England, 1996）。また、地表面の形態からアイソスタティックな密度分布が既知であれば推定できる。

また近年ユーラシア大陸の内部変形を調べるため GPS データが蓄積され、幅 10–100 km 程度の大陸内変形帯を捉えつつある（例えば、Calais *et al.*, 2003）。また、特にチベット高原周辺では、リソスフェアの「効果的弾性厚（effective elastic thickness: T_e ）及びその方位依存性が求められている。しかし、現段階では T_e の分解能は低く推定地域も限られ、ユーラシア全体を議論するには至っていない。

シベリアクラトン~バイカルリフトの深部構造と広帯域地震観測（金尾講演）:

シベリアクラトン~バイカルリフト帯、モンゴル・オホーツク変動帯の深部構造に関する成果が紹介された。太古代シベリアクラトン（Yakutian province）の構造は 1970 年代より屈折法地震探査を中心に研究され、1) 基盤、コンラッド面、並びにモホ面での速度分布にゆらぎが大きく（例えばモホ面での P 波速度は、7.7–9.0 km/s）、それら境界の深さ分布がお互いに関連している、2) クラトン北縁辺部の中期古生代及び中期中生代のキンバーライト地域では、下部地殻が異常に厚く高速度（6.8–6.9 km/s）を示しモホ面が深い、等の特徴的な構造が確認されている（例えば、Suvorov *et al.*, 1999）。下部地殻の厚化と高速度の原因としては、キンバーライトを伴うマグマ活動によりマントル物質が地殻下部にアンダープレATING（底付け）し、クラトンが再活動したことが考えられる。

バイカルリフト帯は、北側のシベリアクラトンと南側の古生代~中生代変動帯、さらに南部のモンゴル~北中国クラトンに挟まれ、新生代の火山活動や局所的な地震活動（例えば、Sherman and Gladkov, 1999）、地溝帯の形成と拡大・剪断様式が観測されている。また、他のリフト地域にみられる地殻の薄化は確認されず、地震探査からは逆に深いモホ面が検知されている。バイカルリフト帯の形成原因として、マントルブルームによる能動的作用、並びにインドとアジアの衝突による受動的な伸張場とが考えられている。今後はマントルブルーム

の形状、リフト発達以前のクラトン周辺の古い構造とプルームとの位置関係、さらにプレート衝突による遠地応力場 (far-field forces) の走向、等の関係を詰めることが重要である。最後に、バイカルリフト帯中央部での広帯域地震計による臨時観測が、ロシア科学アカデミーとの共同で 2004 年 1 月に開始されたことが報告された。

総合討論:

以上の講演のうち、十分に質問と議論ができなかった講演について質疑応答がなされた。特に丸山の発表に関しては、超大陸の形成と分裂様式に関連した地球深部のコア・マントル境界におけるホットプルームの形成メカニズムと上部マントルへの伝導機構について活発な議論がなされた。最後に、ユーラシア大陸の中でも北極域~ヒマラヤ高山域における今後の研究指針について意見交換が行われた。現段階ではまだ組織立った調査研究は行われていないが、今回は残念ながら不参加のユーラシア大陸に興味のある他の国内研究者を含めて、今後このような集会を継続して実施していくことが共通理解された。

3. ま と め

本集会により、ユーラシア大陸の構造と形成過程についてある程度の理解を得ることができた。また、個別の参加者の研究に関連する地域の構造やテクトニクスについても、お互いに最新の情報交換を行うことができた。さらに、将来予測されている超大陸形成のしくみについて、マントル・核を含めたグローバルダイナミクスに関連して理解を深めることもできた。

今後は、今回の集会参加者以外のユーラシア大陸に関心のある幅広い学問分野の研究者を交え、科学研究成果と調査研究推進のための情報交換の場を持つことが大切であると思われる。また、中国をはじめアジア各国やロシア等、ユーラシア大陸現地の国の共同研究者を含めた国際共同研究を推進していくことが望まれる。シベリア北極域やヒマラヤ高山域などは、人類が未知の地球表層環境が残されたフロンティアであり、地球形成史の理解を深め、またグローバルな地球表層の環境変動を知る上でも、南極域と並び重要な場所であると言える。今後さらにこれらの地域についての地球科学的な理解が深まることを期待する。

謝 辞

本集会での研究発表のために、以下に示した多数の参加者(敬称略)のご協力を頂き、無事成功裏に終えることができた。ここに記して感謝する。また本集会の開催に当り、ご協力を頂いた所内外の関係者の皆様に、重ねてお礼を申し上げる。また、本稿の内容改訂にあたり貴重なご助言を頂いた国立極地研究所の小島秀康教授、野木義史助教授に記してお礼申し上げます。

参加者一覧（順不同）:

古本宗充, 臼井佑介 (金沢大・自然科学研究科), 赤松純平 (京大・防災研究所), 山田泰広 (京大・社会基盤工学), 中西一郎 (京大・理学研究科), 丸山茂徳 (東工大・地球惑星科学), 趙 大鵬, 山田 朗 (愛媛大・地球深部ダイナミクス研究センター), Alexei Gorbato (固体地球統合フロンティア研究システム・海洋科学技術センター), 田中俊行 (東濃地震科学研究所), 工藤 健 (サイクル機構東濃地科学センター), 松原 誠, 久保篤規 (防災科学技術研究所), 佐藤興平, 中島 隆 (産業総合研究所), 神沼克伊 (元国立極地研究所), 渡邊興亜, 森脇喜一, 白石和行, 瀧谷和雄, 本吉洋一, 野木義史, 金尾政紀, 外田智千, 山崎 雅, Danier Donkley, 吉岡美紀 (国立極地研究所), 北村圭吾, 山下幹也 (総合研究大学院大学), 計 29 名.

文 献

- 赤松純平・諏訪 浩・松波孝治・中村正夫・村上ひとみ・楠田 隆 (1996): 1996 年中国雲南省麗江地震とその被害に関する調査研究. 第 33 回自然災害科学総合シンポジウム要旨集, 29-52.
- Calais, E., Vergnolle, M., San'kov, V., Likhnev, A., Miroshnichenko, A., Amarjargal, S. and Deverchere, J. (2003): GPS measurements of crustal deformation in the Baikal-Mongolia area (1994-2002): implication for current kinematics of Asia. *J. Geophys. Res.*, **108**(B10), 2501, doi: 10.1029/2002JB002373.
- England(1996): The mountains will flow. *Nature*, **381**, 23-24.
- Huang, J., Zhao, D. and Zheng, S. (2002): Lithospheric structure and its relationship to seismic and volcanic activity in southwest China. *J. Geophys. Res.*, **107**(B10), 2255, doi: 10.1029/2000JB000173.
- Iwamori, H. (2000): Deep subduction of H₂O and deflection of volcanic chain towards backarc rear triple junction due to lower temperature. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **181**, 41-46.
- Kovalenko, D.V. and Kravchenko-Berezhnoy, I.R. (1999): Paleomagnetism and tectonics of Karaginsky Island, Bering Sea. *Geophys. J. Int.*, **8**, 426-432.
- Jung, H. and Karato, S. (2001): Water-induced fabric transitions in olivine. *Science*, **293**, 1460-1463.
- Lonsdale, P. (1988): Paleogene history of the Kula plate: offshore evidence and onshore implications. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **100**, 733-754.
- Morozava, E.A., Morzov, I.B., Smithson S.B. and Solodilov, L.N. (1999): Heterogeneity of the uppermost mantle beneath Russia Eurasia from the ultra-long-range profile QUARTZ. *J. Geophys. Res.*, **104**, 20329-20348.
- Nelson, K.D., Zhao, W., Brown, L.D., Kuo, J., Che, J. *et al.* (1996): Partially molten middle crust beneath southern Tibet: synthesis of project INDEPTH results. *Science*, **274**, 1684-1687.
- Ritzwoller, M.H. and Levshin, A.L. (1998): Eurasian surface wave tomography: group velocities. *J. Geophys. Res.*, **103**, 4839-4878.
- Sherman, S.I. and Gladkov, A.S. (1999): Fractals in studies of faulting and seismicity in the Baikal rift zone. *Tectonophysics*, **308**, 133-142.
- Suvorov, V.D., Parasotka, B.S. and Chernyi, S.D. (1999): Deep seismic sounding studies in Yakutia. *Phys. Solid Earth*, **35**, 612-629.
- Yamada, Y., Tanaka, A. and Matsuoka, T. (2003): DEM simulation of tectonic deformation. *Proceedings of the Recent Advances in Exploration Geophysics. (RAEG2003)*, Kyoto, Japan, 226-230.
- Yano, T. and Wu, G. (1999): Basement structure around the Lijiang basin, Northwestern Yunnan, China. 都市圏における地質環境の変遷と地震動災害, 京大防災研究所集會報告集, 202-211.
- Zhao, D. and Lei, J. (2003): Seismic ray path variations in a 3D global velocity model. *Phys. Earth Planet. Intl.*, **141**, 153-166.