

北上山地における直線長大トンネル 立地に向けた地質学的検討

平松晋一^{1*}・松下典史¹・横山幸也¹・佐貫智行²

¹応用地質株式会社（〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町2-61-5）

²東北大学大学院理学研究科物理学専攻（〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-3）

*E-mail: hiramatu-siniti@oyonet.oyo.co.jp

国際リニアコライダー計画においては、全長31km～50kmの直線長大トンネル施設が建設される。地下施設においては電子ビームと陽電子ビームの衝突実験を行うための多くの精密機械が設置されることから、堅硬で安定した岩盤が必要とされる。特に長期間にわたるトンネルの直線性を維持するためには、地盤変位を生じさせるような活断層が横断しないことが絶対条件になる。これまでの地質調査結果によると、北上サイトにおいては塊状の花崗岩類が広く分布し、変質帯や断層破碎帯が少ない安定した岩盤からなることが分かった。また、空中写真判読による地形調査（変動地形学的手法）や現地での地表地質踏査結果から、周辺には活断層もしくはその可能性のあるリニアメントは存在しないと判断された。

Key Words : active fault study, aerial photograph interpretation, tectonic geomorphology methods, ILC

1. はじめに

国際リニアコライダー（International Linear Collider, 以下ILC）は、高エネルギーの電子と陽電子の衝突実験を行うための大規模な加速器研究施設である。その主体をなすのは、メインライナックトンネルとダンピングリングおよび中央部に位置する衝突実験ホールなどの地下空洞施設である（図-1参照）。特にメインライナックトンネルは、全長31～50kmにおよぶ直線長大トンネルであることから、長期的なトンネルの直線性を確保できる地形・地質・岩盤であることが絶対条件となる。

トンネルの直線性を損なう要因としては、地震活動による地殻変動や断層変位が考えられる。一般に、トンネルなどの地下構造物は、地震動により受ける被害は小さいと言われている。2011年東日本大震災

を引き起こした東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）は、海溝型（プレート境界型）の巨大地震であったが、地下構造物が顕著な被害を被ったという報告はほとんどない。国土交通省のGPS観測結果によると、宮城県から福島県沿岸域では沈降量0.5～1.2m（平均沈降量0.8m）を示し、宮城県牡鹿観測点では水平変位約5.3m、上下方向変位1.2mを記録している。このような地殻変動の影響は、ミリメートルオーダーでみるとかなり内陸部まで及んでいるが、広域的な変動であるため変動量が顕著な地域以外では、トンネルルート上の直線性を大きく損なうものではないと考えられる。

一方、活断層が引き起こす内陸地震では、地震動の影響もさることながら、特に断層変位によるトンネル構造物への影響に注意する必要がある。断層変位がトンネル構造物に直接影響を与えた事例として

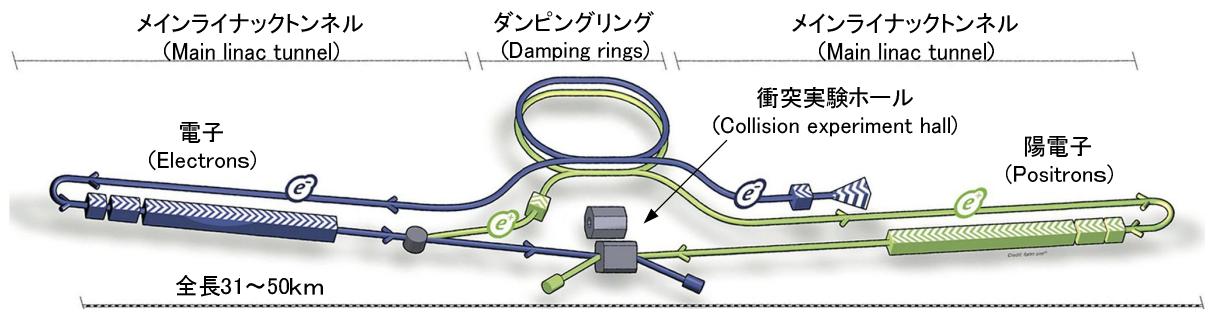


図-1 ILCの地下施設概念図（<http://www.linearcollider.org/images/>¹⁾に加筆）

1930年北伊豆地震が有名である。この地震では、震源断層である丹那断層の変位（北へ約2.7m）により、当時掘削中であつた丹那トンネルの切羽が閉塞されたことが知られている。

ここでは、ILCルート周辺の活断層調査として、文献調査、地形調査、地表地質踏査などを行った結果を述べるとともに、東北地方のテクトニクスの観点から考察する。

2. 活断層調査の方法

(1) 活断層とリニアメント

「活断層」は最近の地質時代まで活動しており、将来も活動する可能性のある断層と定義される。ここでいう「最近の地質時代」とは、第四紀（約260万年以降）または第四紀の後期（およそ数十万年前以降）を指す。1回の断層活動で生じた変位量は小さくても、同じ場所で断層活動が繰り返されると、地表には図-2に示されるような特徴的な地形が現れる。このようにして形成された地形を、断層変位地形または単に変位地形と呼ぶ。このうち、図-2の赤色で示されたような線状の地形を「リニアメント」と呼ぶ。しかし、リニアメントは河流による浸食作用や地質分布・構造の違いによる組織地形など、他の原因で生じる場合もあるので、リニアメントは全て活断層というわけではない。



1) 崖地形 (縦ずれ地形、変動崖)	断層崖、拗曲崖(A)、低断層崖(C)、三角末端崖(B)、逆むき低断層崖
2) 凹地形 (変動凹地)	断層谷、地溝(G)、小地溝、断層凹地、断層陥没池、断層池(D)、断層鞍部(F)、断層角盆地
3) 凸地形 (変動凸地)	地塁、小地塁、ふくらみ(E)、断層地塊山地、傾動山地、圧縮尾根
4) 横ずれ地形	横ずれ尾根、横ずれ谷(H)、閉塞丘(I)、段丘崖のくいちがい(M-M')、山麓線のくいちがい(L-L')

図-2 断層変位地形の諸例（活断層研究会編²⁾）

(2) 活断層調査の流れ

活断層調査は、文献調査、地形調査及び地表地質踏査の各項目よりなる（図-3参照）。

文献調査は、活断層に関連する既往資料、すなわち、既存の活断層図、地形図、地質図、重力分布図、震源分布図、地殻歪分布図などを収集・整理するものである。活断層図としては、活断層研究会編（1991）²⁾の「[新編]日本の活断層」、中田・今泉編（2002）³⁾の「活断層詳細デジタルマップ」、地質調査所（1983）⁴⁾の「1/50万活構造図秋田」などがある。

地形調査は、空中写真判読により断層変位地形の可能性のあるリニアメントを抽出し、変動地形の確からしさからリニアメントのランク分けをするものである。空中写真判読では、1947年米軍撮影（縮尺1/4万）、1977年国土地理院撮影（縮尺1/1万）及びDEM（国土地理院の数値標高モデル10mメッシュ）による立体斜度図（縮尺1/5万）を使用した。

地表地質踏査は、抽出されたリニアメントを対象として、露頭観察、スケッチ、ルートマップ作成などを行い、地質分布、地質構造、岩盤の風化状況等とリニアメントの位置関係を把握するものである。

これらの調査結果を総合的に判断し、抽出したリニアメントの成因を明らかにすると共に、最終的にILCルート周辺の活断層の存在の可能性を判定する。

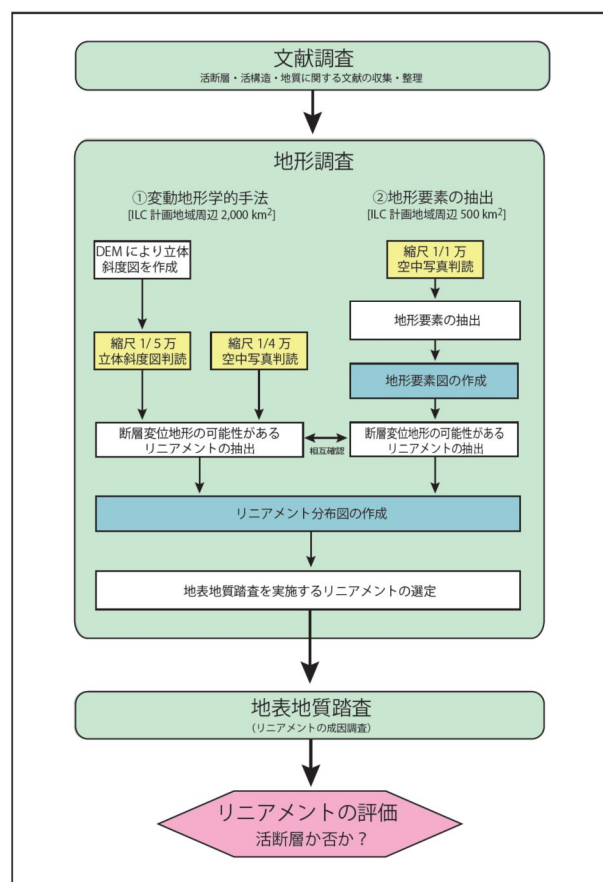


図-3 活断層調査の流れ

3. 活断層調査結果

(1) 文献調査結果

図-4は、新編日本の活断層、活断層詳細デジタルマップ及び日本の活構造図に記載されている活断層をコンパイルしたものである。背景には、産業技術総合研究所（2009）⁵⁾の20万分の1日本シームレス地質図を使用している。

岩手県の主要な活断層として、奥羽山脈と北上低地の境目に北上低地西縁断層帯、その西側に雫石盆地西縁－真昼山地東縁断層帯がある。また、秋田県内に横手盆地東縁断層帯、宮城県内には長町－利府線断層帯の活断層がある。しかし、ILCルートが計画されている北上山地には、新編日本の活断層による確実度Ⅲ（活断層の疑いのあるリニアメント）以外、いずれの文献にも活断層あるいは推定活断層は記載されていない。

(2) 地形調査結果

地形調査では、既存の調査研究では対象とならないような軽微なリニアメントも抽出すべく、空中写真判読を実施した。表-1にリニアメントの判読基準を示す。この表は、土木学会⁶⁾の原子力発電所の地

盤の耐震安定評価のための変動地形学的手法を取り入れたリニアメント判読基準を一部拡張したものである。ここでは、基準地形の種別、地形要素、リニアメントの連続性・直線性・明瞭度などをもとに $L_A \sim L_E$ の5段階にランク分けされている。 L_A は変位地形である可能性が高いリニアメントであり、以下 L_B 、 L_C 、 L_D とランクが下がるにつれ変位地形である可能性も低くなる。もっともランクの低い L_E は変位地形以外の要因に起因する可能性が高いリニアメントである。

抽出したリニアメントを図-5に示す。調査地域内には17条のリニアメントを判読した。ILCルート周辺のリニアメントの特徴として、直線状の崖や谷が較的多いことが挙げられるが、その両側に高度不連続は認められず谷や尾根の屈曲も認められない。ILCルートの東方に L_C ランクのリニアメント（No.1-a）が1条抽出されたが、図-5によると地質境界に沿った組織地形の可能性が高いと判断される。残りのリニアメントはいずれも L_D （変位地形である可能性が非常に低い）ないし L_E （変位地形以外の要因に起因する可能性が高い）ランクのものである。

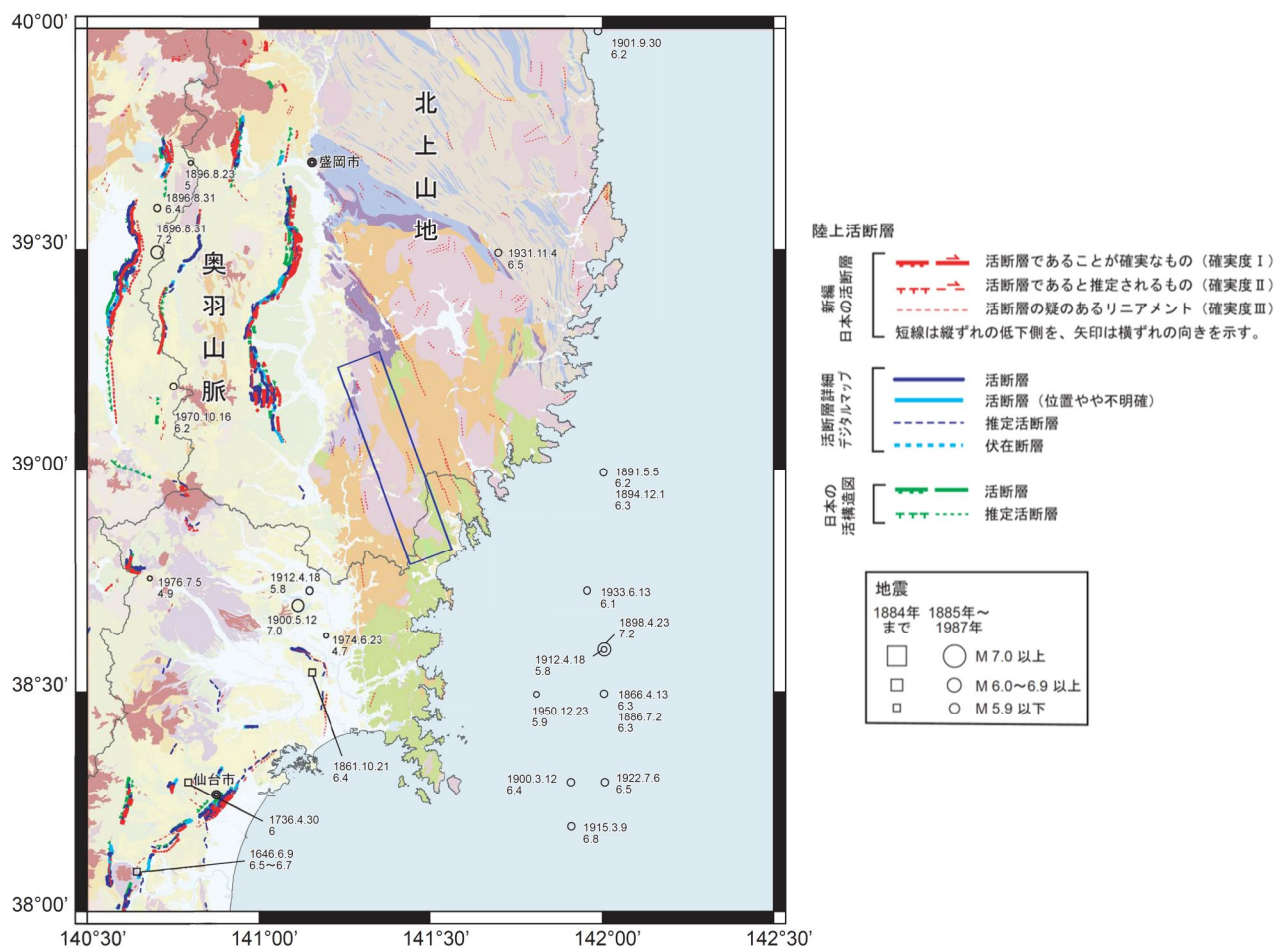


図-4 北上山地周辺の文献断層(主要な活断層)

表-1 リニアメントの判読基準

リニアメントのランク	判読内容		
	山地・丘陵内	段丘面	リニアメントの連続方向・連続性・高度不連続など
LA 変位地形である可能性が高い	鮮明な崖、鞍部等の直線的な連続から成り、ひと続きであることが明瞭な地形面上に一樣の高度不連続が認められるもの。河谷・尾根が系統的に同方向に屈曲し、屈曲量に累積性が認められるもの。	ひと続きであることが明瞭な段丘面上の開析を受けていない鮮明な崖、急斜面等の直線的な連続からなるもの。崖、急斜面が異なる複数の段丘面等の地形面上に直線的に連続するもの。	連続方向は河食崖、海食崖の方向とは斜交あるいは直交する。傾斜方向は地形面の一般的傾斜方向とは逆方向を示す。連続方向は河食崖、海食崖の方向と、傾斜方向は地形面の一般的傾斜方向と同方向であるが、明瞭な高度不連続が認められ比高が大きく一様であり連続性も良い。
LB 変位地形である可能性がある	崖、鞍部等の直線的な連続からなり、ひと続きであると推定される地形面上に一樣の高度不連続が認められるもの。河谷・尾根が不明瞭であるが、系統的に同方向に屈曲しているもの。	ひと続きであると推定される段丘面上のほとんど開析を受けていない鮮明な崖、急斜面の直線的な連続から成るもの。	連続方向は河食崖、海食崖の方向とは斜交あるいは直交する。傾斜方向は地形面の一般的傾斜方向とは逆方向を示す。連続方向は河食崖、海食崖の方向と、傾斜方向は地形面の一般的傾斜方向と同方向であるが、明瞭な高度不連続が認められ比高が大きく一様であり連続性も良い。
LC 変位地形である可能性が低い	崖、鞍部等のほぼ直線的な連続からなり、その両側で高度不連続が一樣に認められる。河谷・尾根が一部で同方向に屈曲しているもの。	段丘面上に見られるほぼ直線的な崖、急斜面の連続からなるが、一部で不鮮明なもの。	連続方向は旧流路、河食崖、海食崖の方向とはやや斜交する。連続方向は旧流路、河食崖、海食崖の方向と、傾斜方向は地形面の一般的傾斜方向と同方向であるが、高度不連続が認められ比高が大きく連続も良い。しかし、一部で不明瞭となる。
LD 変位地形である可能性が非常に低い	開析を受けて不鮮明な崖、鞍部等のほぼ直線的な連続からなり、その両側で高度不連続が認められるが不明瞭であるもの。連続性の良い直線的な急崖・河谷からなるが、明瞭な変位地形を伴わないもの。	段丘面上に見られる崖、急斜面の連続からなるが、断続することが多く不鮮明なもの。	高度不連続は不明瞭であり、連続方向は河食崖、海食崖の方向と、傾斜方向は地形面の一般的傾斜方向と同方向、あるいは斜交し、一部で寸断され断続する。
LE 変位地形以外の可能性が高い	開析を受けて不鮮明な崖、鞍部等の断続からなり、その両側で高度不連続が認められても不明瞭であるもの。直線状の崖・谷が連続するが、明瞭な変位地形を伴わないもの。	段丘面上に崖、急傾斜面は認められない。	高度不連続は認められても、不明瞭である。連続方向は河食崖、海食崖の方向と、傾斜方向は地形面の一般的傾斜方向と同方向あるいは斜交し、しばしば切断され、断続的である。

土木学会(1985)の判読基準に下線部を追加

(3) 地表地質踏査結果

地形調査により抽出された 17 条のリニアメントのうち、ILC ルートを横断する、あるいは近接する計 8 条(図-5 のNo.2-b, 3, 4, 5, 6-b, 7, 12, 13)のリニアメントを対象として地表地質踏査を実施し、リニアメントの成因に関する精査を行った。

この結果、いずれのリニアメントも地質境界に生じる岩相の違いによる差別浸食、岩盤中の節理や固結した断層に起因する浸食地形あるいは貫入境界であることが判明した。図-6 にリニアメントを対象とした地表地質踏査結果の事例(リニアメントNo.7)を示す。

以上のことから、ILC ルート周辺において抽出したリニアメントは、地質分布や地質構造に起因した組織地形であり活断層である可能性は極めて低いと判断される。

4. 考察

文献調査では、産業技術総合研究所(2004)⁷⁾の重力異常図(ブーゲー異常)や気象庁による地震の震源分布データも参照している。これらによると、北上山地では顕著な重力異常や、微小地震の震源が帯状に配列するようなゾーンも認められていない。このことは、北上山地には地表に現れない伏在活断層や震源断層となりうるような地質構造が地下に存在する可能性は低いと考えられる。

東北地方では、東南東の方向から太平洋プレートが沈み込んでいる。東北地方の地形をみると、奥羽山脈や出羽山脈では南北に延びる山地と低地が交互に並んでおり、主な活断層はこれらの山地と低地と

の境界に沿って南北方向に分布している。そのほとんどは逆断層であり、この地域が東西方向に圧縮されていることを示している。また、この地域の脊梁山脈は、東北地方の第四紀火山列からなる火山フロントと以西の背弧に位置付けられ、マグマの上昇経路と地震を引き起こす震源断層とが密接に関わっていると考えられている。

一方、これより東側に位置する北上山地は、非火山性の前弧に位置付けられており、古期岩類が広く分布し地殻変動も少ない。北上山地北部に青森県から延びる折爪断層がある以外は、顕著な活断層は認められない。

このように、東北地方のテクトニクスの観点からみても、北上山地は活断層の少ない安定した地塊になっており、今回の ILC ルートを対象とした活断層調査でも、これを裏付ける結果が得られたと判断される。

5. まとめ

北上サイトの ILC ルート周辺の活断層調査の結果、以下のようなことが明らかとなった。

- ・文献調査の結果、ILC ルートが計画されている北上山地には、新編日本の活断層による確実度Ⅲ(活断層の疑いのあるリニアメント)以外、いずれの文献にも活断層あるいは推定活断層は記載されていない。
- ・地形調査の結果、ILC ルート周辺のリニアメントの特徴として、直線状の崖や谷が較的多いことが挙げられるが、その両側に高度不連続は認められず谷や尾根の屈曲も認められない。ILC ルートと

離れたところに L_c ランクのリニアメントが1条抽出されたが、他のリニアメントはいずれも L_D (変位地形である可能性が非常に低い) ないし L_E (変位地形以外の要因に起因する可能性が高い) ランクのものである。

- ILC ルートを横断する、あるいは近接するリニアメントを対象とした地表地質踏査の結果、いずれのリニアメントも地質境界に生じる岩相の違いによる差別浸食、岩盤中の節理や固結した断層に起因する浸食地形あるいは貫入境界であることが判明した。
- 北上山地においては、顕著な重力異常や微小地震の震源が帯状に集中するゾーンも認められないことから、地下深部に震源断層となり得るような地質構造が存在する可能性は低いと判断される。

以上のように、北上山地に活構造の存在が認められないのは、東北地方のテクトニクスに関連してい

るものと考えられる。

謝辞： ILCプロジェクトに関する一連の調査・解析は、2010年に東北大学・岩手県の「北上山地花崗岩体の形態・構造と岩盤安定性の評価に関する共同研究」として開始された。このときは、東北大学理学部・山本均教授、今泉俊文教授、吉田武義教授のご指導のもと、岩手県政策地域部・大平尚首席ILC推進監、植野歩未主任主査のご協力をいただきながら現地調査に赴いた。その後、東北大学工学部・京谷孝史教授、風間基樹教授、河井正准教授にご指導いただき、岩手県政策地域部に赴任された細越健志特命課長、大久保義人主任主査にもひとかたならぬご協力をいただきながら進めてきた。ここに記して深く感謝するものである。

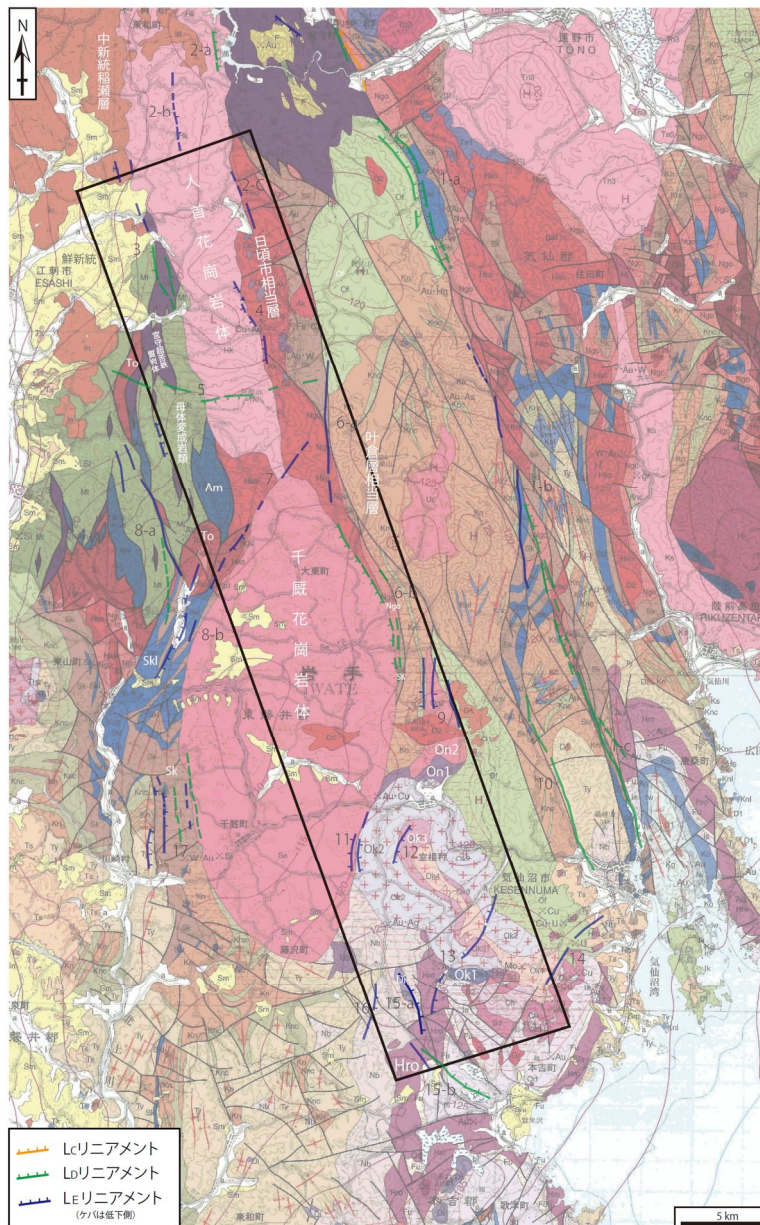


図-5 変動地形学的手法によるリニアメント分布図(竹内ほか, 2005⁸⁾より作成)

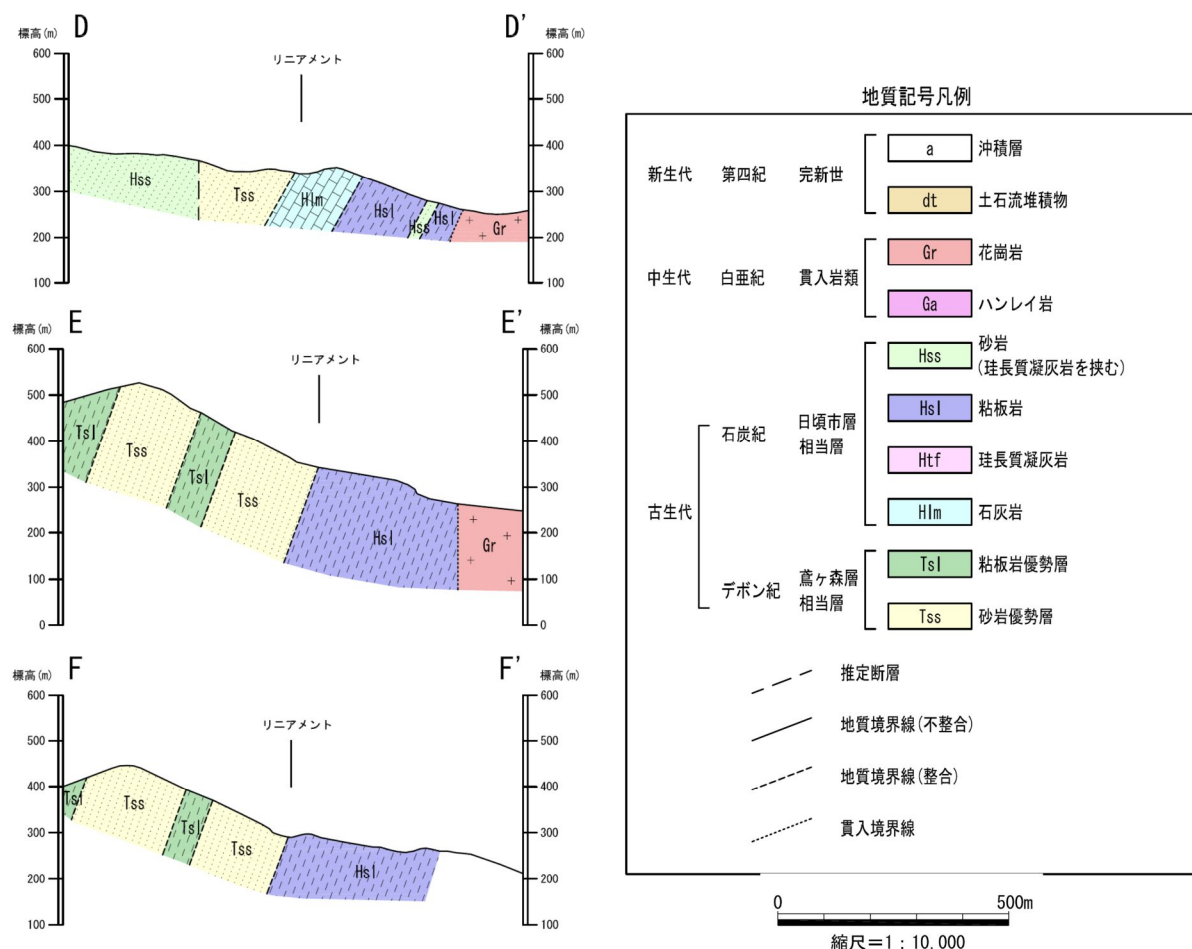


図-6 地表地質踏査結果の事例（リニアメントNo.7）

参考文献

- 1) Linear Collider Collaboration, <http://www.linearcollider.org/images/>, (2014/4/21 アクセス).
- 2) 活断層研究会編：[新編]日本の活断層一分布図と資料，東京大学出版会，1991.
- 3) 中田高，今泉俊文編：活断層詳細デジタルマップ，東京大学出版会，2002.
- 4) 地質調査所：1:500,000 活構造図 秋田，図幅第 6 号，1983.
- 5) 産業技術総合研究所 地質調査総合センター編：20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版，2009.
- 6) 土木学会：原子力発電所 地質・地盤の調査・試験法および地盤の耐震安定性の評価手法，1985.
- 7) 産業技術総合研究所 地質調査総合センター編：日本重力 CD-ROM 第 2 版，2004.
- 8) 竹内 誠，鹿野和彦，御子柴(氏家)真澄，中川 充，駒澤正夫：20 万分の 1 地質図幅 一関，2005.

GEOLOGICAL STUDIES FOR SITTING OF THE ILC IN KITAKAMI MOUNTAINS

Shinichi HIRAMATSU, Norifumi MATSUSHITA, Tatsuya YOKOYAMA
and Tomoyuki SANUKI

A 31-50km long straight tunnel will be constructed underground in the International Linear Collider (ILC) project. The required conditions of geology for constructing ILC facilities will be that the hard rock bodies exist around the candidate-site. Particularly, to maintain the linearity of the tunnel structure, it is an absolute requirement that the active fault does not cross the ILC route. In the previous geological investigations, it is recognized that granitic rock bodies distribute without altered or fault fracture zone. According to aerial photographic surveying or geological exploration, it is confirmed that active fault or lineament is not existing around the ILC route under consideration.