

ISSN 0386—5878

土木研究資料第3577号

土 木 研 究 所 資 料

活断層起源の線状模様の空中写真判読による
認定方法の検討

平成11年2月

建設省土木研究所
環境部地質研究室

Copyright © 1999 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

活断層起源の線状模様の空中写真判読による 認定方法の検討

環境部 地質研究室 主任研究員 黒木 貴一*
研 究 員 品川 俊介
室 長 脇坂 安彦

要 旨

活断層（第四紀断層）起源の線状模様の空中写真判読による認定法の検討を、代表的な活断層の分布する地域を対象に行った。その結果、認定法の客観化と精度向上のためには、流域界上にある活断層起源の鞍部に着目して線状模様の判読し、さらに地形判読を行って線状模様を構成する地形を明らかにすることが効率的であることがわかった。また、活断層起源の線状模様と断層露頭の位置は一致していないことが多く、1) 崖地形の地形変化、2) 破碎帯の幅、3) 並行する他の断層の存在、4) 地形境界線の屈曲・湾曲が、両者の位置の不一致の要因であると考えられた。

キーワード：活断層、線状模様、空中写真判読、地形区分

*現在 建設省国土地理院地理地殻活動研究センター地理情報解析研究室 主任研究員

まえがき

兵庫県南部地震のような内陸直下型地震の震源となる活断層については、地震防災上の観点からその活動性、詳細な分布位置、活動した場合の影響等に関して検討を行う必要がある。ただし、これらのなかで活動性の評価は地震予知そのものであり、現時点では困難である。したがって、断層の詳細な分布位置を把握し、それが活動した場合の影響評価の方がより現実的な対応となるものと考えられる。

国内陸地部における活断層の分布位置は、空中写真による線状模様の判読からほぼ網羅的に把握されている。しかし、判読結果には個人差があり、また、それら線状模様の位置が断層露頭の位置と一致しないことも多い。したがって、多くの現場において線状模様と活断層との関係が不明確であることに起因する様々な問題が生じている。

このため、断層の詳細な分布位置の把握、またその断層が活動した場合の的確な影響評価の基礎資料とするため、活断層起源の線状模様の客観的な写真判読方法の検討と、線状模様と実際の断層位置が一致しない要因の検討を行った。

本資料はこれらについての平成8年度および9年度の検討結果をとりまとめたものである。

目 次

1. はじめに	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の方法	1
1.3 活断層の空中写真判読に関する既往の研究	3
2. 空中写真判読による客観的な線状模様抽出法とその問題に関するケーススタディ	4
2.1 北武断層	4
2.1.1 1/4 万空中写真による線状模様判読－鞍部と地形境界線の判読法－	5
2.1.2 1/1 万空中写真による地形判読 － 1/4 万空中写真の判読結果との重ね合わせと分析－	8
2.1.3 線状模様と断層露頭の位置の不一致の検討 － 判読者や写真スケールの違いからの検討－	11
2.2 双葉断層	13
2.2.1 1/4 万空中写真による地形判読	13
2.2.2 1/1 万空中写真による地形判読	19
2.2.3 線状模様と断層位置の不一致の検討 － 写真スケールによる地形区分精度からの検討－	23
2.2.4 断層位置にある地形の現地観察結果	29
2.3 石廊崎断層－ 1/4 万空中写真による地形判読－	30
3. 線状模様構成地形と断層の位置に関する検討	33
3.1 線状模様の定量的な判読法の検討	33
3.1.1 1/4 万空中写真による地形判読	33
3.1.2 判読結果とその評価法	34
3.1.3 活断層起源の線状模様の認定の問題点	39
3.2 線状模様と断層位置の不一致要因の地形学的検討	39
3.2.1 1/1 万空中写真による地形判読	39
3.2.2 判読結果とその評価	41
3.2.3 線状模様と断層露頭の位置の不一致要因	46
4. まとめと今後の課題	48
4.1 客観性と高精度化の観点からの線状模様の判読方法	48
4.1.1 空中写真判読による客観的な線状模様抽出法とその問題	48
4.1.2 線状模様構成地形と断層位置に関する検討	48
4.2 今後の課題	48
謝 辞	49
参考文献	50

1. はじめに

1.1 研究の背景

1995年の兵庫県南部地震における構造物の地震被害については、地震断層の出現した野島断層や、兵庫県南部地域に存在する断層群との関連性の検討がなされた。それによれば地震被害は、地下地質構造に由来する地震動の増幅^{1), 2)}などによるものや、断層や段丘崖に沿って急斜面が分布する地域の地すべり³⁾によるもの、あるいは地震断層の出現により直接生じた⁴⁾ものが報告されている。したがって、土木構造物の設置に当たって、活断層を防災的に扱うには、活動性、断層位置、地震断層の出現予想位置の正確な情報取得が重要となってくる。ただし、これらのなかで活動性の評価は地震予知そのものであり、現時点では困難であるため、断層の詳細な分布位置を把握し、それが活動した場合の影響評価の方がより現実的な対応であると考えられる。

現在、主に活断層の位置の認定は、経験的技術に頼る空中写真判読、トレンチなどの地質調査や物理探査によって行われている。実際の地形・地質調査では、前者は活断層全体の位置決定において後二者に先立って行われ、後二者は前者の精度を高めるため、あるいは断層の活動履歴を把握するために実施されるのが一般的である。これらのうち空中写真判読では線状模様を判読し、判読された線状模様から活断層を認定するが、判読基準が客観性および定量性に欠けるため次のような問題がある。

- 1) 判読者により、活断層の可能性のある線状模様の位置や長さが異なる⁵⁾。
- 2) 判読者により、線状模様の活断層としての確実度が異なる⁵⁾。
- 3) 写真スケールにより、同一判読者でも線状模様の認定結果に違いが生じる⁶⁾。

また、空中写真判読は、あくまでも地形を判読する方法のため次のような問題も含んでいる。

- 4) 線状模様の位置と地質踏査で確認された断層位置とが、必ずしも一致しない⁷⁾。
- 5) 判読結果からは断層の構造や活動性に関わる特徴まで十分に分からない。

本資料では、断層の詳細な分布位置の把握、またその断層が活動した場合の的確な影響評価の基礎資料とするため、これら1)～4)の問題を考慮しつつ、活断層に関わる線状模様の客観的な写真判読方法と、線状模様と断層位置が一致しない要因の検討を行った結果を報告する。なお、5)の問題については現在検討中のため別途報告する。

1.2 研究の方法

「新編日本の活断層⁸⁾」を用いて、断層露頭が記載されている活断層を抽出し、その中のいくつかについて現地における断層露頭観察およびその周辺の地形観察を実施した。また、同時に空中写真を用いた地形判読（線状模様およびその他の地形について）を実施した。

対象とした活断層は、平成8年度が東日本に分布する北武断層、双葉断層、石廊崎断層であり、平成9年度が西日本に分布する阿寺断層、下円井断層、中央構造線（四国地方）、水縄断層、小黑川断層、西町断層である（図－1.1）。図－1.1には、平成8年度、平成9年度に現地調査したその他の断層も記載した。

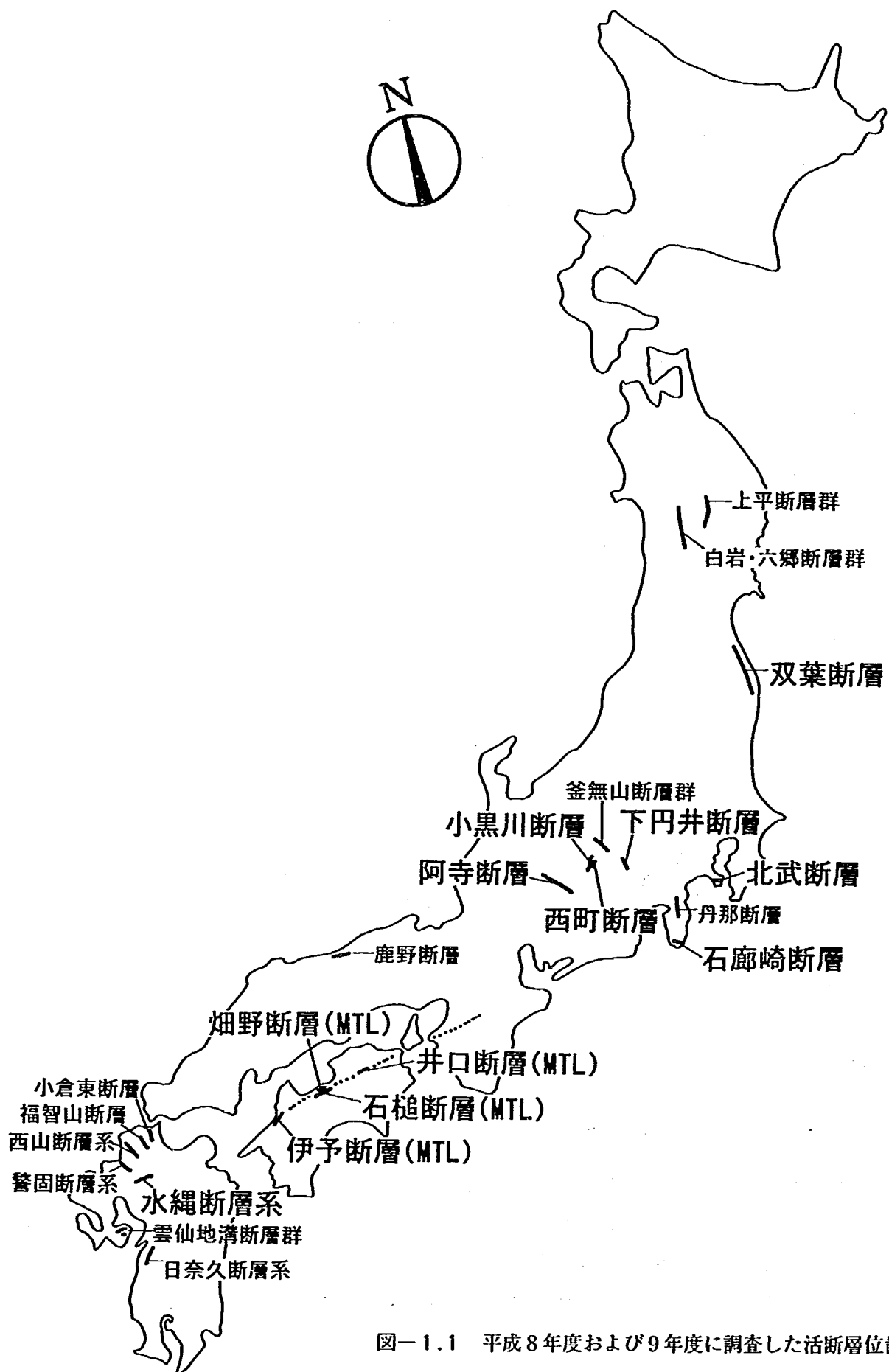


図-1.1 平成8年度および9年度に調査した活断層位置

前節で述べた1)～2)の問題を背景に、活断層位置の認定の精度向上および効率化を目指して、活断層に対するより客観的な空中写真判読方法の検討と、線状模様の認定に及ぼす写真スケールの影響についての検討を行った。使用した空中写真は米軍撮影の1/4万と1/1万カラー空中写真である。

同時に前節4)の問題を背景に、写真判読された線状模様の位置と現地調査した断層露頭の位置を比較し、両者の位置にずれが生じる原因について地形学的な検討を行った。

1.3 活断層の空中写真判読に関する既往の研究

活断層が活動した結果、断層沿いには崖地形（断層崖、三角末端面等）、凹地形（断層谷、鞍部等）、凸地形（地塁、断層分離丘等）、横ずれ地形（横ずれ谷、閉塞丘等）に大別できる各種の断層変位地形が生じる。そのうち山岳地域を対象に空中写真を実体視すると、主に鞍部、断層谷、三角末端面などによる地形の直線的な不連続線や、横ずれ地形の直線的な配列によって形成される線状模様が判読される。このような線状模様を対象とする研究は、空中写真判読から地形学的に活断層の認定を行うために線状模様を扱ったもの⁹⁾などや、線状模様の客観的な抽出法を目指したりリモートセンシング技術の高精度化に関するもの¹⁰⁾などに大別できる。

活断層を認定する写真判読方法について、池田ほか¹¹⁾では「リニアメント（線状模様）を見つけ、次にそれに沿って断層変位地形の有無を検討」するとされる。一方、通常の浸食や堆積での地形変化では説明のつきにくい地形でかつ、断層変位によって地形発達の説明できるものを判読し、その後に線状模様を認定するという考え方もある。前者と後者は活断層か否かの判断の順序が異なる。前者の方法では無数の無意味な線状模様を抽出し易く、この過ちによる問題が生じていることが多い。しかしながら後者に依ったとしても、全ての活断層の判読に従事する者が、経験を積んだ地形学者のように地形発達史まで考慮して活断層を認定していくのは非現実的である。

なお、本報告では対象地域を山岳地域にしたため、線状模様は一般に「フォトリニアメント」¹²⁾と呼ばれているもののうち、空中写真によって地形判読した際に、複数の鞍部と地形境界線が一条となって連続し線状に見えるものに限定する。すなわち、線状模様は複数の鞍部や地形境界線によって構成されるものと定義する。

2. 空中写真判読による客観的な線状模様抽出法と その問題に関するケーススタディ

2.1 北武断層

北武断層は、三浦半島中部にあるWNW-ESEの延長を持つ活断層である。その周辺地質について地質調査所¹³⁾、活断層研究会⁸⁾、鈴木ほか¹⁴⁾より、北武断層周辺の地質をまとめた(図-2.1)。鈴木ほか¹⁴⁾によれば三浦半島には、その中部にもっとも古い新第三系下部の葉山層群が分布する。この分布地域は、地塁・地溝を形成する地域の隆起帯にあたり、嶺岡・葉山隆起帯と呼ばれる。地溝部ならびに嶺岡・葉山隆起帯周辺部には、下部中新統～下部鮮新統の三浦層群が分布する。図-2.1に示す範囲には、下位より葉山層群、三浦層群の下部より三崎層(泥岩凝灰質砂岩互層)、初声層(凝灰質砂岩)、逗子層(基底礫岩を伴う泥岩)、池子層(凝灰質砂岩)、浦郷層(凝灰質礫岩および凝灰質砂岩)、野鳥層(凝灰質泥質砂岩および凝灰質砂岩)、上総層群の林層(凝灰質砂岩)、相模・下総層群の宮田層(砂、泥および礫)が分布する。半島中部東には小原台面(約8万年前)を構成する段丘堆積物が見られ、海岸部には沖積層が分布する。

図-2.1には活断層研究会⁸⁾を参照し、三浦半島に分布する衣笠断層、北武断層、武山断層、南下浦断層、引橋断層を並記した。これらの断層はおおむねWNW-ESE走向である。

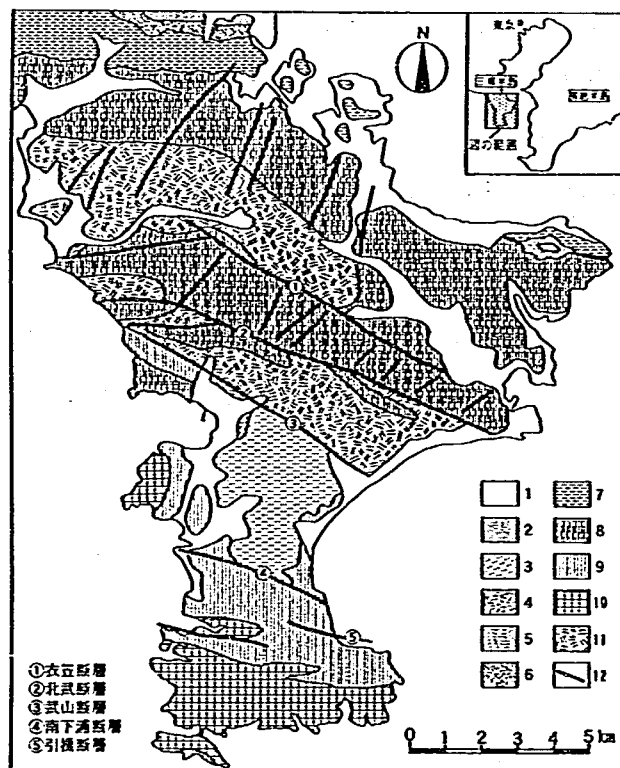


図-2.1 北武断層およびその周辺の地質図(文献¹³⁾、⁸⁾、¹⁴⁾より編集)

1: 沖積層、2: 段丘堆積物、3: 宮田層、4: 林層、5: 野鳥層、6: 浦郷層、
7: 池子層、8: 逗子層、9: 初声層、10: 三崎層、11: 葉山層群、12: 断層
* 3は更新世中～後期の相模・下総層群中・下部に、4は鮮新世～更新世前期の
上総層群に、5～10は中新世から鮮新世前期の三浦層群に属する。

2.1.1 1/4万空中写真による線状模様判読—鞍部と地形境界線の判読法—

断層変位地形の位置を示す鞍部および地形境界線の分布を、客観的かつ効率よく明らかにする目的で、北武断層付近を対象に線状模様の抽出作業を行った。

(1) 基本図の作成

空中写真判読より断層運動による線状模様を判読する場合、判読者の違いにより線状模様の認知の程度が専門家であってもかなりの開きを生じることが明らかにされている⁵⁾。これは、線状模様の構成地形の認知に必要な判読者の判断基準が各自の判読経験に基づいているために異なることにあるものと思われる。しかし、ダム建設等の土木工事においては、活断層あるいは第四紀断層について、断層位置の高精度の把握が必要となる。従って、線状模様のより客観的な認定方法とともに、確度の高い位置認定方法が必要である。

そこで、まず経験的な差異をできる限りおさえるために、空中写真を用いて直接に線状模様を判読せず、2段階に分けて線状模様を抽出する方法を検討した。

以下、線状模様基本図の作成手順を示す(図-2.2参照)。なお、線状模様基本図作成には、基本的に1/4万空中写真を用いる。

01: 写真の中で最大の流域をもつ河川Aを抽出する。

10: 河川Aの持つ流域界Aを実線でトレースする。トレースは流域界が不明瞭になる低地までとし、端点には印(図では●)を記す。

11: 流域界Aに接する最大の大きさの流域界Bをトレースする。

12: 鞍部および線状模様を次の条件で抽出する。

1) 鞍部がAとBの接する流域界線上にある。

2) 鞍部の両翼に鈍角(約120~180°)で延伸する谷筋、または山地とその他の地形境界線から構成される線状模様が認められる。

13: 抽出された鞍部(図では○)と線状模様(図では-)をトレースする。両者をあわせて線状模様の構成要素とする。

20: 流域界AまたはBに接する次に大きい流域界Cをトレースする。

21: 12の1)にある「A」を「AまたはB」とし、BをCとして13までの作業を行う。

30: 流域界A、B、C…のいずれかに接する流域界Zをトレースした際に、目的の範囲がすべてカバーされたら、Zについての12、13の作業を行って作業40に進む。

40: 流域界Aの内部にある最大の流域A1の流域界を破線でトレースする。トレースは流域界が不明瞭になる低地までとし、端点には印(●)を記す。

41: A1の流域界線上の鞍部を12の2)、3)の条件で抽出し、13の作業を行う。

42: 流域界Aの内部にある流域AXが判読できなくなったら、そこで作業をやめ、作業50に進む。
流域AXの最小面積の目安はおおむね1Km²程度で考えていく。

50: 流域界B~Zについて、40~42の作業を行って、作業60に進む。

60: 基本図の凡例を基本的に、1:大河川の流域界、2:中河川の流域界、3:流域界の端点、4:鞍部、

5：線状模様、6：主要河川とする。

70：終了

01～70までの作業を行って、北武断層付近において図－2.2の線状模様基本図が作成された。

(2) 全体図の作成

線状模様基本図（図－2.2）には、鞍部および鞍部から発する線状に見える谷筋を記載したのみであり、各々は独立している。そこで、線状模様の連続性を確認するために、既存の地形境界線の延長線上にある地形境界線を加える作業を行って、線状模様全体図を作成する。

以下、線状模様全体図の作成手順を示す。線状模様全体図作成には1/4万空中写真と、線状模様基本図を用いる。

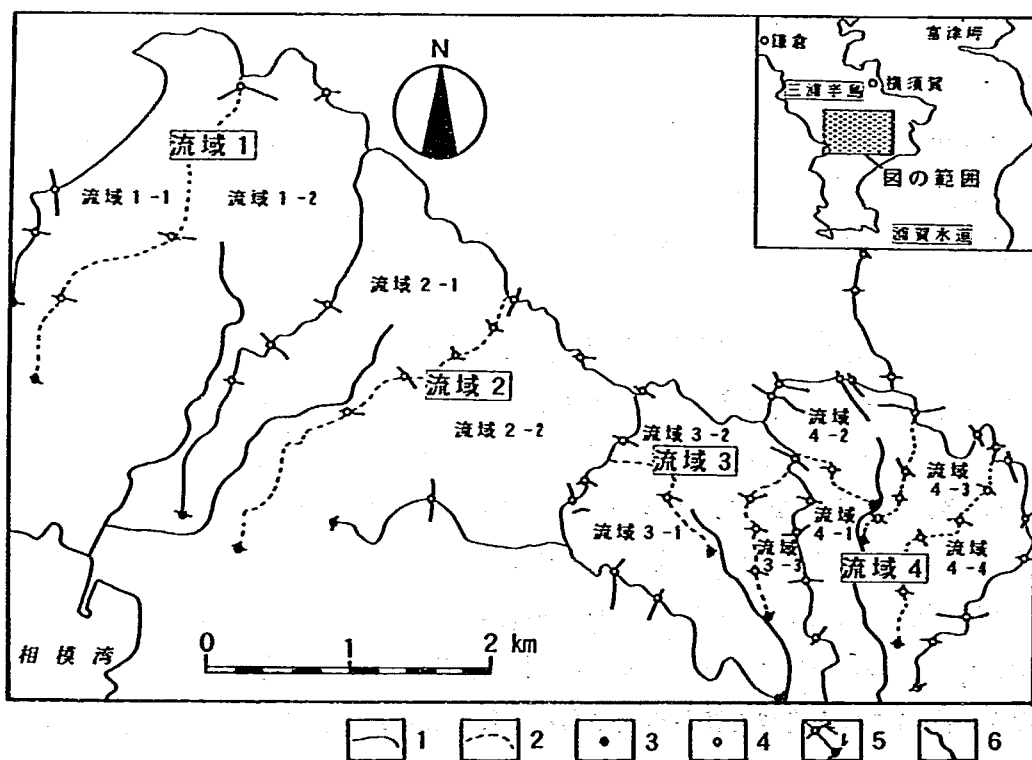
01：線状模様基本図の線状模様構成要素を結合させるような、地形境界線を判読する。

02：地形境界線の内、谷筋は実線で、それ以外の地形境界線は破線で記載する。地形境界線の抽出条件は次の通りである。

1）低地中に連続する場合や、山陰となって不明な場合は記載しない。

2）おおむね500m以上追跡できない線状模様は対象外とする。

03：全体図の凡例を基本的に、1：大河川の流域界、2：流域界の端点、3：鞍部、4：谷筋、5：地形境界線とする。



図－2.2 線状模様基本図

1：大河川の流域界、2：中河川の流域界、3：流域界の端点、4：鞍部、
5：線状模様、6：主要河川

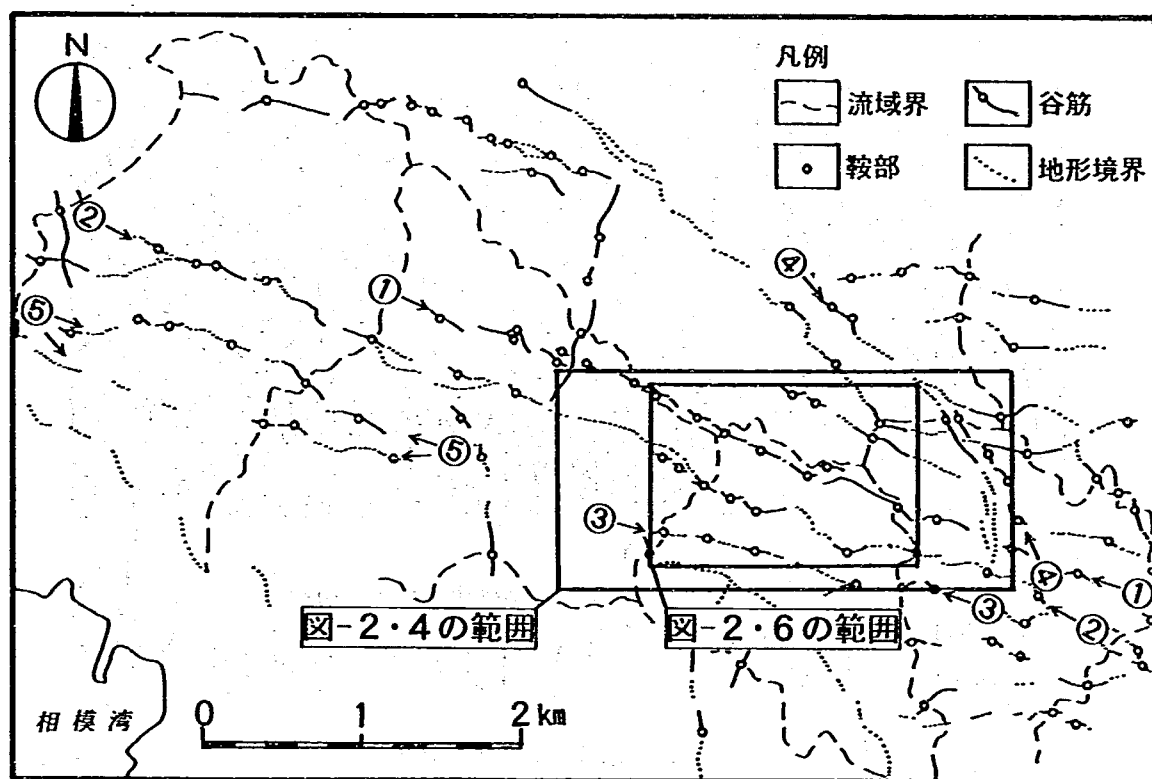
01～03までの作業を経て、図－2.3の線状模様全体図を作成した。

したがって、図－2.3は抽出した鞍部と地形境界線とからなる線状模様を示したものとなる。図のようにWNW-ESE延長の多数の線状模様がみられ、その中には流域を越えて延長するように見える連続性の良い線状模様が多数ある。しかし、連続性が良いとはいえ、それらの線状模様が必ずしも活断層起源であるとは限らない。そこで、断層変位地形の有無を確認する地形区分方法を検討した。

(3) 地形区分図の作成要領

まず、米軍の1/4万空中写真から北武断層およびその周辺（図－2.3に判読範囲を示す）を対象に面的に地形区分を行い、断層変位地形の抽出を試みた。地形区分は、山地・丘陵、谷のない山地斜面、谷のある山地斜面、川・谷筋、段丘、低地とした。以下に各地形の特徴を記載する。

- 1) 山地・丘陵：山地斜面（尾根筋と谷筋）の区別のしにくい起伏の大きい地域。開析の及ばない山地の高位部や狭義の丘陵地など。
- 2) 谷のない山地斜面：平坦な稜線を切ったような谷の発達しない開析斜面。三角形のことが多いが、その場合、三角形の頂点が尾根筋に連続するため、いわゆる三角末端面となる。ここでは断層変位地形に限らない。
- 3) 谷のある山地斜面：いわゆる開析谷のこと。
- 4) 川・谷筋：開析谷中の明瞭なV字谷（写真判読の限界）。



図－2.3 線状模様全体図

*①～⑤は線状模様と認定したもの。

*図－2.2と同一範囲。

5) 段丘：台地状の平坦面。

6) 低地：扇状地や沖積低地、並びに沖積低地と比高があまりない段丘。

地形区分の作業手順は、低地、段丘、山地、川・谷筋、谷のある山地斜面、谷のない山地斜面の順序とした。

作成された地形区分図を図-2.4に示す。図のようにこの方法での地形区分では、谷のない山地斜面の直線状の配列が顕著に見出せる以外は、目立った特徴はない。

次に、連続性の良い線状模様（図-2.3の①～⑤）沿いに断層変位地形を判読した。作業手順は、谷と尾根の横ずれ地形、分離丘陵の順とした。

その結果を図-2.5に示す。図のように②、④、⑤の線状模様沿いに谷や尾根の横ずれと分離丘陵が認定できるため、それらの線状模様は活断層の可能性が高いものと判断できる。

2.1.2 1/1万空中写真による地形判読—1/4万空中写真の判読結果との重ね合わせと分析—

1/1万空中写真を用いて地形判読を行うと、1/4万空中写真では明瞭であった線状模様が不明瞭となり、線状模様の部分には面積を持つ地形単位が見出される。しかし、面的に把握される各地形の境界は線状のため、1/1万空中写真で作成した地形区分図から、あらたな線状模様の認定が可能であり、その解釈次第ではより高精度の断層位置の把握が可能になるものと考えられる。

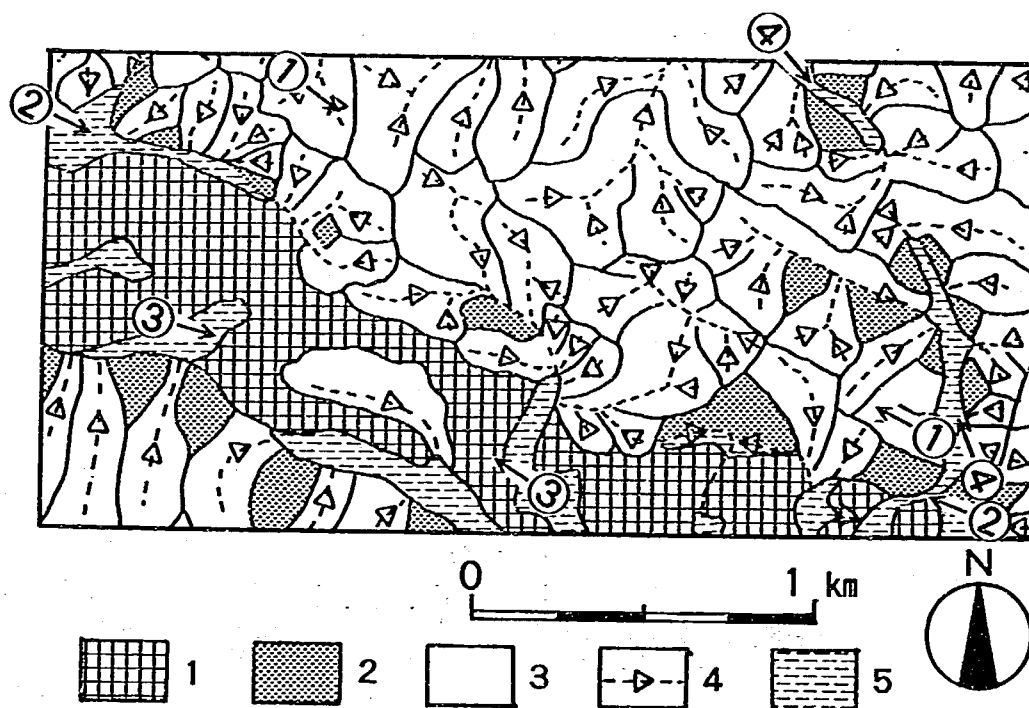


図-2.4 地形区分図1 (1/4万空中写真対応)

1：山地・丘陵、2：谷のない山地斜面、3：谷のある山地斜面（開析谷）、4：川・谷筋、5：低地

* 3の開析谷の境界を示す実線は尾根筋、4の破線にのる三角の頂点方向が下流。

* 図-2.4の範囲は、図-2.3に示す。

* 線状模様①～④は、図-2.3と同じ。

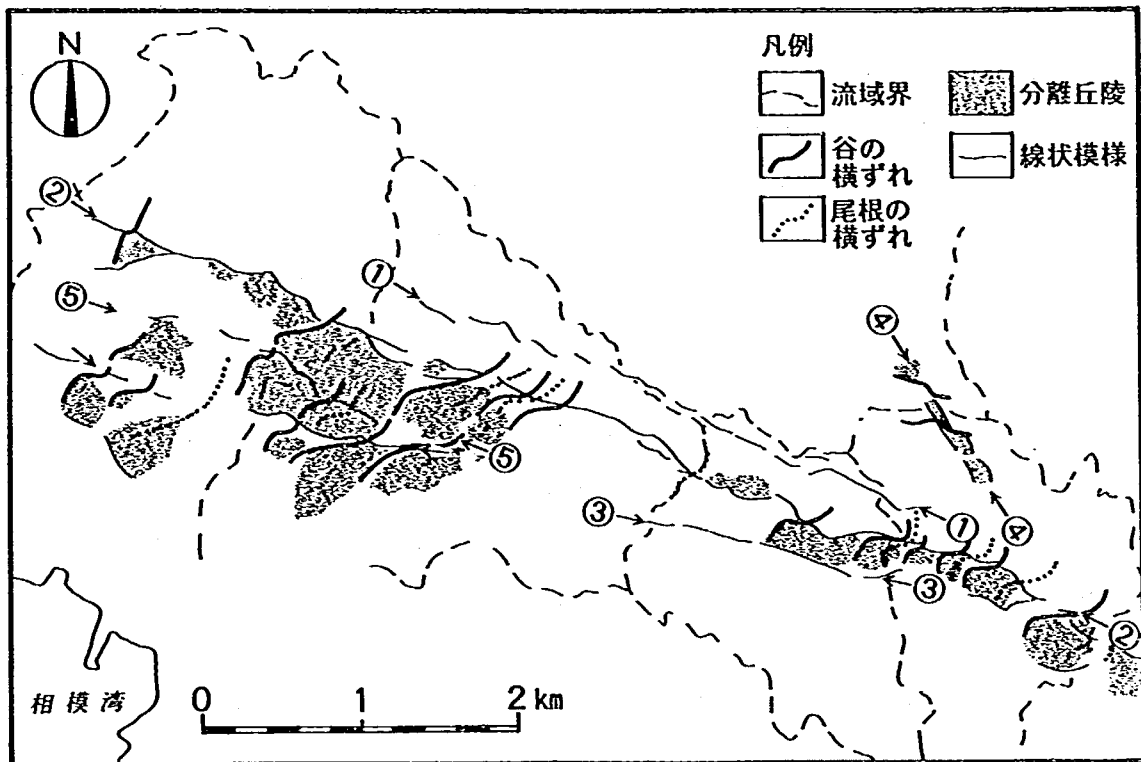


図-2.5 地形区分図2 (1/4万空中写真対応)

*線状模様①~⑤は、図-2.3と同じ。

*図-2.2と同一範囲。

ここでは、断層位置の精度よい認定方法を検討することを目的とし、1/4万空中写真で判読した範囲の一部地域について、1/1万空中写真による地形判読を行った(図-2.6)。また、断層地形であるかどうかを、図上で議論可能なように、地形区分を単純なものとし、かつできるだけ客観的な地形の判読基準を設けて地形区分図を作成した。地形区分およびその判読基準は以下の通りである。

- 1) 山地・丘陵：段丘よりも高位にある起伏に富んだ地域。
- 2) 鞍部：1/4万で抽出された線状模様上にあり、線状模様と交差する尾根筋で鞍部になっている場所。
- 3) 分離丘陵：鞍部、低地、斜面地形により山地と分かれた地塊。断層変位地形における狭義の閉塞丘を含む。分離丘陵を構成する斜面には後述の三角末端面を含む場合があるが、分離丘陵を優先して図示している。
- 4) 開析谷：山地・丘陵地を開析するすり鉢状を呈す凹地。川・谷筋がある。
- 5) 川・谷筋：定常的な水流のあるなしに関わらず、開析谷(V字谷)にある最も深い場所の連続を川・谷筋とした。
- 6) 三角末端面：山地・丘陵と低地の間にある平滑な三角形の斜面で、三角形の頂点は尾根筋に連続する。
開析谷の範囲外に区分される
- 7) 段丘：更新世中～後期に形成された平坦な台地。

8) 崖錐：山地・丘陵の麓にあり、背後に明瞭な谷があまり発達しない扇形を呈する急傾斜の斜面。

9) 沖積錐：山地・丘陵の麓にあり、背後に明瞭な谷が発達する扇形を呈する緩傾斜の斜面。

10) 低地：完新世の沖積作用によって形成された低い平坦な地形。

その他、場所によっては段丘崖斜面（段丘のより下位の地形との境界となる比高数mの斜面）や、扇状地（段丘化の見られない現世の開析谷から発する礫質の扇地形）を区分した方が適切な場合も想定される。

対象とした北武断層付近での作業手順としては、低地、（段丘、崖錐、沖積錐）、（開析谷、川・谷筋）、鞍部、（山地・丘陵地、分離丘陵）、三角末端面の順序が容易であった。

図-2.3の①~③の位置を、図の2.6に重ね合わせてみると、②は、鞍部や谷とともに分離丘陵や横ずれ谷の断層変位地形、さらに崖錐や三角末端面などによる多様な地形境界線で構成されており、活断層起源の線状模様の集まりであると判断される。また、②を挟んで北東側は開析谷、南西側では山地・丘陵が多く、大局的な地形が異なっていることも、②の活断層起源を裏付けている。他方①は、ほとんどが鞍部と谷による線状模様であり、③は、幅広い崖錐や低地に判読されたために線状模様が不明瞭になっており、いずれも断層変位地形が認められない。

以上の1/4万および1/1万空中写真の判読結果を文献¹⁵⁾と比較すると、図の2.3~6で示した②の線状模

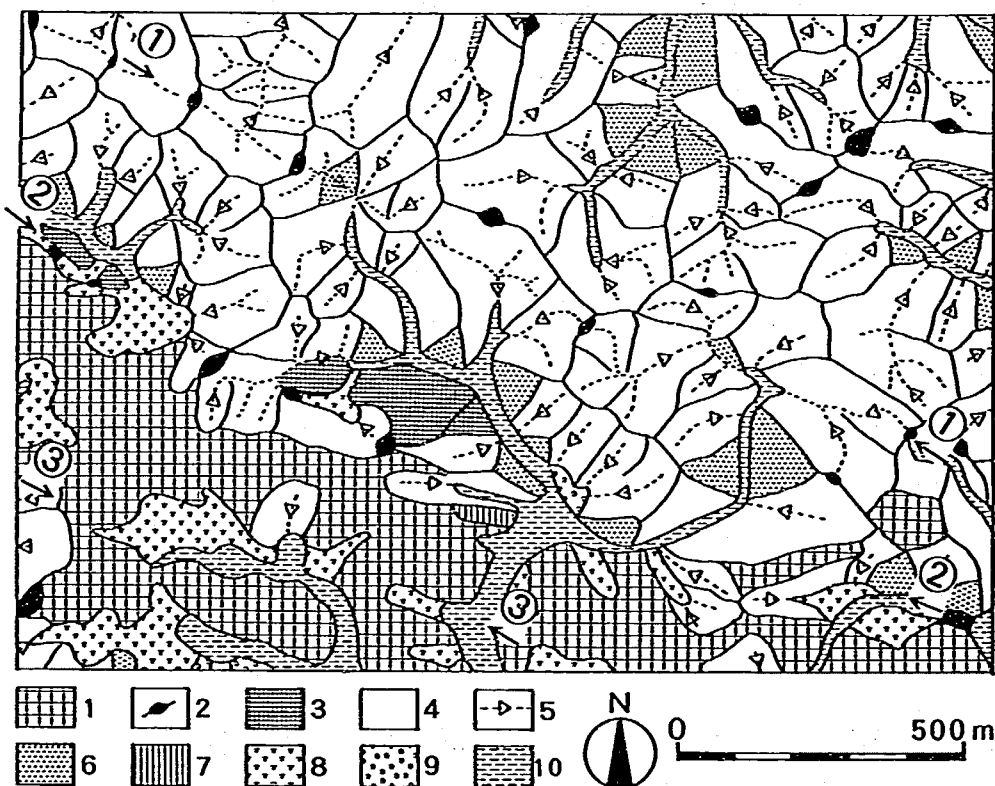


図-2.6 地形区分図 (1/1万空中写真対応)

1：山地・丘陵、2：鞍部、3：分離丘陵、4：開析谷、5：川・谷筋、
6：三角末端面、7：段丘、8：崖錐、9：沖積錐、10：低地

* 4の開析谷の境界を示す実線は尾根筋、5の破線にのる三角の頂点方向が下流。

* 図-2.6の範囲は、図-2.3に示す。

様が北武断層、④は衣笠断層、⑤は北武断層の南に認定されている確実度Ⅱの活断層の位置に一致する。また、②の東南東延長上でのトレンチ調査¹⁶⁾から、北武断層の最新活動時期は1540～1020年前で、横ずれ成分が卓越していることが分かっている。このように本資料で提案した方法によって確実に活断層の認定が行われている。すなわち、活断層に関わる線状模様をより客観的にまた確実に見出すには、1) 鞍部と地形境界線から構成されている線状模様を、今回のような基準を設けて抽出した後に、2) 連続性の良い線状模様を対象として断層変位地形を含む地形判読や、3) 面的な地形判読を実施し、1)～3)の結果を重ね合わせて検討することにより、活断層起源の線状模様を効率的に認定することが可能であることが示された。

2.1.3 線状模様と断層露頭の位置の不一致の検討ー判読者や写真スケールの違いからの検討ー

図－2.7を用いて、線状模様と断層露頭の位置の不一致の検討を行った。図の2.7の①、②は図－2.4の範囲であり、③は図－2.6の範囲である。

図の2.7の①および②は、1/4万の空中写真を使用し、判読者A（図の①、通常の方法による判読）とB（図の②、2.1.1の方法による判読）による鞍部と地形境界線の判読結果である。①と②を比較すると、両者とも線状模様がWNW-ESE方向に連続し、また図の東にはNNW-SSE方向の地形境界線が見られる。しかし、判読者の違いにより、鞍部の数、線的な線状模様の延長距離に違いが生じている。つまり、判読者各々の判読基準に差があるため、松田ほか⁵⁾で示されたように、同じ空中写真を用いても判読結果が異なっている。

次に、図－2.7の②に示した③の範囲について、判読者Bが1/1万空中写真を用いて鞍部と地形境界線の判読を行い、空中写真スケールの相違が結果に及ぼす影響を検討した。②と③を比較すると、②で判読された線状模様が③で判読できないこと（ケース1）や、逆に②で判読できない線状模様が③で判読されること（ケース2）がある。これらの要因は次のように考えられ、ケース1では、1/4万空中写真で川・谷筋とされていたものが、1/1万空中写真では幅のある平野とされ、前者で鞍部とされていたものが、後者では不明瞭になることで、全体の連続性が認識できなくなった結果と考えられる。一方、ケース2では、1/4万空中写真で不鮮明だった川・谷筋、小さすぎて判読できなかった鞍部が、1/1万空中写真では鮮明な川・谷筋ー鞍部ー幅のある狭長な低地などの連続する線状模様として認識できた結果と考えられる。

以上の結果から、線状模様と断層露頭の位置の不一致の要因の一つとして、判読者の違いと写真スケールの違いによる線状模様の位置の認定の曖昧さが示唆される。

北武断層はKaneko¹⁷⁾で右横ずれとされ、太田ほか¹⁸⁾ではその横ずれ変位速度が2～3 m/1000年、垂直変位速度がその東部で北上がり0.1～0.3 m/1000年であるとされている。その北武断層の断層露頭を、図-2.7の矢印の位置で観察した。そこは1/4万、1/1万空中写真いずれの地形判読結果でも鞍部となる。露頭では、幅13.2 mの破碎帯を持つ砂ーシルト質の逗子層と、幅38 m以上の破碎帯を持つ泥質の葉山層が、断層関係で接するのが観察できた。断層の位置は1/1万空中写真から読みとれる鞍部の中心から、北側に約20 mずれていた。すなわち、鞍部は南側の葉山層分布域に偏って位置する。一般に、このような断層位置に形成される鞍部は、断層変位によるものか断層破碎帯沿いの侵食によるもののいずれか、または両者の重なったものと考えられている⁸⁾。

観察した地点のように鞍部が断層の南側に偏在する理由を考えてみる。一つは原岩の特性あるいは破碎の程度が原因となって、葉山層の侵食抵抗性が弱いために差別侵食を受けた可能性と、もう一つは断層が北傾斜のため、以前は鞍部の中心に断層が位置していたものが、谷の下刻に従って、鞍部の北側に位置するようになった可能性が挙げられる。いずれにしても線状模様と断層露頭の位置の不一致の要因の一つとして、断層破碎帯等の断層付近の地質構造と侵食が考えられる。

2.2 双葉断層

双葉断層は、福島県東部にある南北の延長を持つ活断層である。その周辺地質について柳沢ほか¹⁹⁾、久保ほか^{20, 21)}、活断層研究会⁸⁾を用いて双葉地域の地質について図-2.8にまとめた。本地域は西に標高500~700mの阿武隈山地があり、双葉断層より東には南北に長い平野があって、そこに標高100m以下の丘陵や段丘が分布する。双葉断層は、先第四紀に形成された断層帯(渡辺ほか²²⁾によると第三紀)の一部が再活動したものとされ、延長は70kmとされる⁸⁾。活断層研究会⁸⁾によれば、南北に約100kmの延長を持つ西上がりで左ずれの確実度Ⅰ~Ⅱの活断層で、断層変位地形の分布状況から場所により活動度に差のあることが推定されている(久保ほか^{20, 21)})。

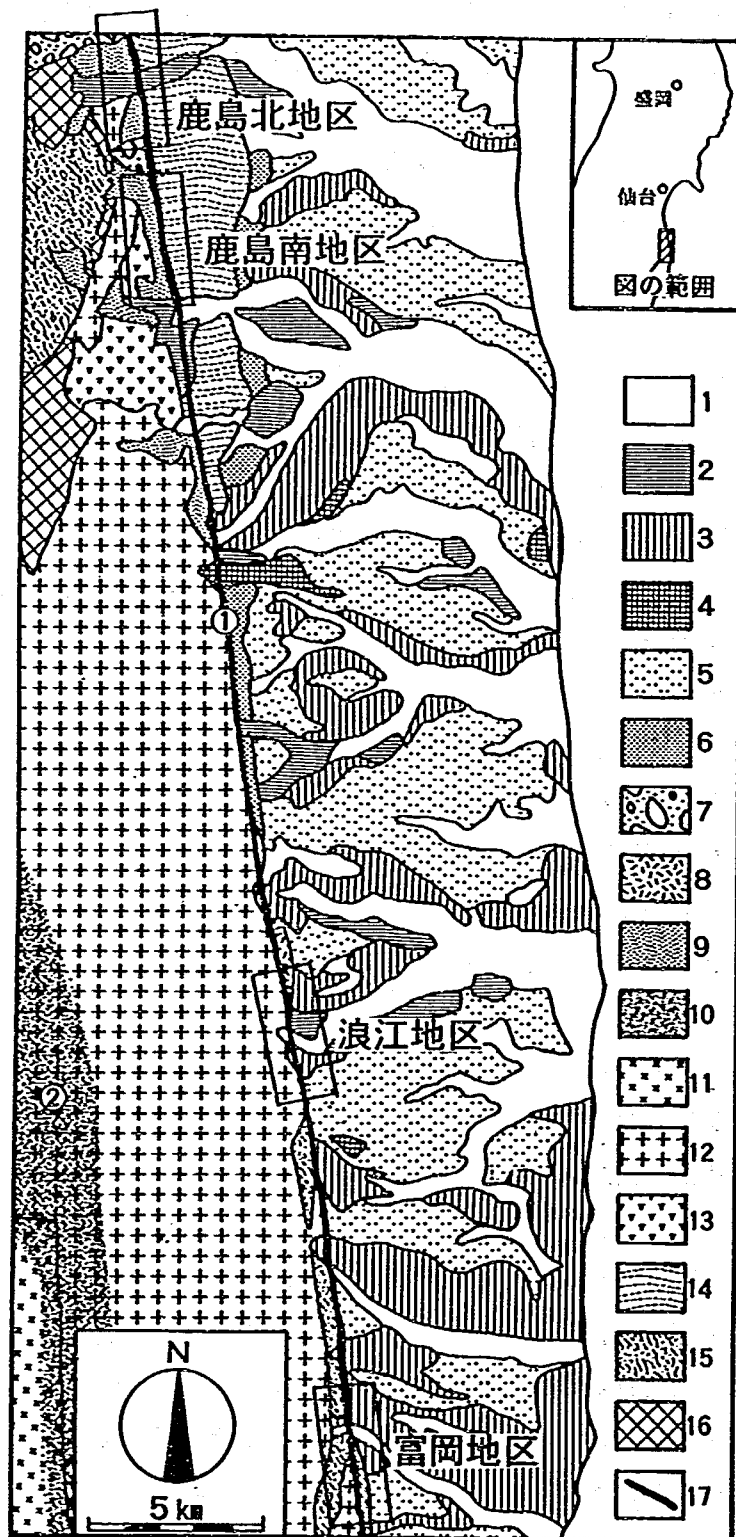
平野部は主に沖積低地と高位、中位、低位の各段丘で構成される。中位段丘は最も広い分布を持つが、図-2.8の中央付近では比較的少ない。高位段丘の分布は狭いが、図の中央付近の双葉断層近傍と海岸付近に偏在する。低位段丘は中位段丘に沿うように分布する。

双葉断層の東には鮮新統の仙台層群(上部)があり、本地域には下位より向山層、向山層を整合に覆う大年寺層がみられる。段丘分布域には、砂岩および泥岩からなる海成の大年寺層が広く分布し、礫岩、砂岩、泥岩、亜炭および凝灰岩からなる陸成から汽水成の向山層は双葉断層のすぐ東に狭く分布する。図-2.8の北西端には、中新世中期の霊山層がある。霊山層は、玄武岩溶岩流、降下堆積物とラハール堆積物、河成および湖成堆積物からなる陸成層であり、下位の塩手層を不整合に覆う。塩手層は中新世前期の名取層群下部に属し、河成、湖成、海成の堆積物からなる。中新世前期の湯長谷層群下部の五安層は雲母質の細粒砂岩から、水野谷層は泥岩と砂岩からなり、図-2.8の中央付近の双葉断層の東縁に沿って幅の狭い撓曲帯をなして分布する。漸新世前期の白水層群は、図の南端にみられる。白水層群は陸成層に始まり上位に向かって海成層に変化する海進期の堆積物で、下位より石城層、浅貝層および白坂層に区分される。

双葉断層の西約5km付近にはNNW-SSEに伸びる畑川破碎帯が発達している。畑川破碎帯以東の先第三系は、先デボン系時代未詳の松ヶ平変成岩(泥質-珪質変成岩)および助常変成岩類(苦鉄質変成岩)、デボン系-二畳系の相馬古生層(石灰岩や砂岩・泥岩などの海成層)、中部ジュラ系-最下部白亜系の相馬中村層群(碎屑岩類からなる浅海成層と陸成層)、下部白亜系の高倉層(安山岩やデイサイト)、下部白亜系の花崗岩類を主とする各種貫入岩類からなる。畑川破碎帯以西には白亜紀のいわゆる阿武隈花崗岩類とそれにとまなう変成岩・斑れい岩が分布している。

2.2.1 1/4万空中写真による地形判読

文献^{19, 20, 21)}に示される双葉断層は、南北に長く様々な地質の分布域を通る(図-2.8)。ここでは、断



図一2.8 双葉断層およびその周辺の地質図 (文献¹⁹⁾, ²⁰⁾, ²¹⁾, ⁸⁾ より編集)

- 1 : 沖積層、2 : 低位段丘、3 : 中位段丘、4 : 高位段丘、
 5 : 大年寺層、6 : 向山層、7 : 霊山層、8 : 湯長谷層群、
 9 : 名取層群、10 : 白水層群、11 : 畑川破碎帯以西の貫入岩類 (花崗岩)、
 12 : 畑川破碎帯以東の貫入岩類 (花崗岩)、13 : 高倉層、14 : 相馬中村層群、
 15 : 相馬古生層、16 : 松ヶ平及び助常変成岩、17 : 断層、
 ① : 双葉断層、② : 畑川破碎帯

層延長上での位置的な違いによる地形種や地形分布の特徴を見いだすことを目的として、鹿島北地区、鹿島南地区、浪江地区、富岡地区の4つの地域（図－2.8参照）を選定し、1/4万空中写真により地形区分を行った。

双葉断層では、北武断層での地形区分（山地・丘陵、鞍部、谷のない山地斜面、谷のある山地斜面（開析谷）、川・谷筋、段丘、低地）の他に分離丘陵と緩斜面が区分しやすく、また、谷のない山地斜面には丘陵斜面や段丘崖斜面も多くあり、これらの区分を試みた。以下にいくつかの地形について説明を付す。

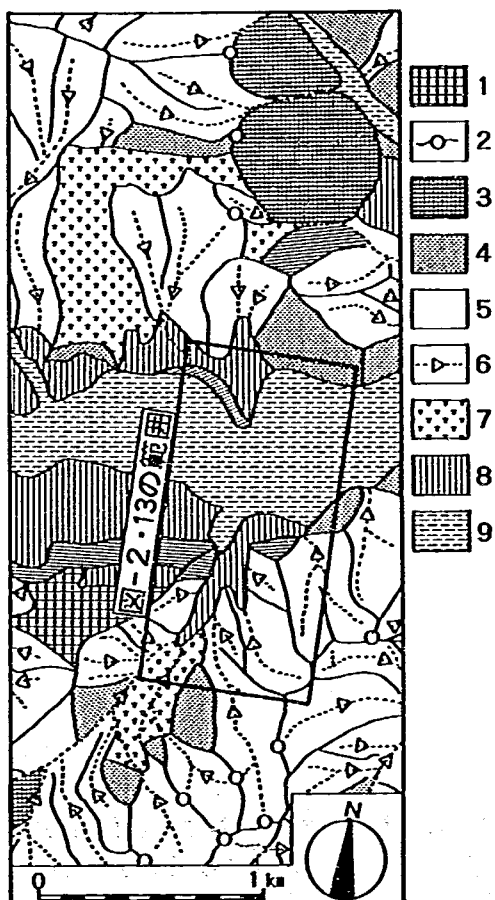
1) 分離丘陵：鞍部または低地や斜面地形により山地と分離した地塊のこと。

2) 緩斜面：谷のない山地斜面より緩傾斜である平滑斜面を区分している。ただ、写真判読からは沖積錐か崖錐かの区別ができない。また、斜面上には背後に谷のある山地斜面（開析谷）より連続するガリが判読できる場合も多い。

谷のない山地斜面に丘陵斜面や段丘崖斜面を含めたのは、年代の異なる高位段丘起源の丘陵や段丘面おのの比高が双葉断層周辺では大きく、山地斜面と区別し難いためである。

(1) 鹿島北地区

鹿島北地区の地形区分図を図－2.9に示し、主に線状模様の地形構成要素を北から南へ追跡することで、双葉断層上の地形種や分布の特徴を記載する。



図－2.9 鹿島北地区における双葉断層付近の地形区分図（1/4万空中写真対応）

- 1：山地・丘陵、2：鞍部、3：分離丘陵、
- 4：谷のない山地斜面（丘陵や段丘崖斜面も含む）、
- 5：谷のある山地斜面（開析谷）、6：川・谷筋、
- 7：緩斜面（崖錐や沖積錐も含む）、
- 8：段丘、9：低地

* 5の開析谷の境界を示す実線は尾根筋、6の破線にのる三角の頂点方向が下流。

図-2.9の北に、底辺の直径が約500mの円錐形を呈する2つの分離丘陵がある。分離丘陵の西には鞍部がある。西にある開析谷に比べ分離丘陵が大きいので、横ずれ成分が明瞭に判読できず、分離丘陵を断層地形の閉塞丘と呼ぶには無理がある。ただ、川・谷筋が僅かに北方に変向しており、左ずれの双葉断層活動の特徴を示している可能性がある。分離丘陵の南西には南向きの緩斜面がある。その緩斜面の東には、緩斜面を開析するように発達する南向きの開析谷がある。緩斜面の北の背後に谷のない斜面があり、それが滑落崖のように見える。緩斜面の南には段丘があり、東西に長い幅500m程度の低地を挟んで対岸にも段丘が分布する。段丘は少なくとも2段あり、上位のものには段丘崖斜面がみられるが分布は狭い。

図-2.9の中部から南西に延長する開析谷があり、開析谷の中に川・谷筋、緩斜面、直線上に並ぶ三角形を呈する谷のない山地斜面がある。

図-2.9の南部は開析谷が大半を占め、4つの鞍部が2~300mの等間隔でNE-SW方向に並ぶように見える所がある。これらの鞍部からはNE-SW方向の川・谷筋が発していることが多く、それ故にNE-SW方向の線状模様が判読できる。

線状模様を認定できる地形境界線は、後述する図-2.17に示した。

(2) 鹿島南地区

鹿島南地区の地形区分図を図-2.10に示し、線状模様の地形構成要素を北から南へ追跡することで、双葉断層上の地形種や分布の特徴を記載する。

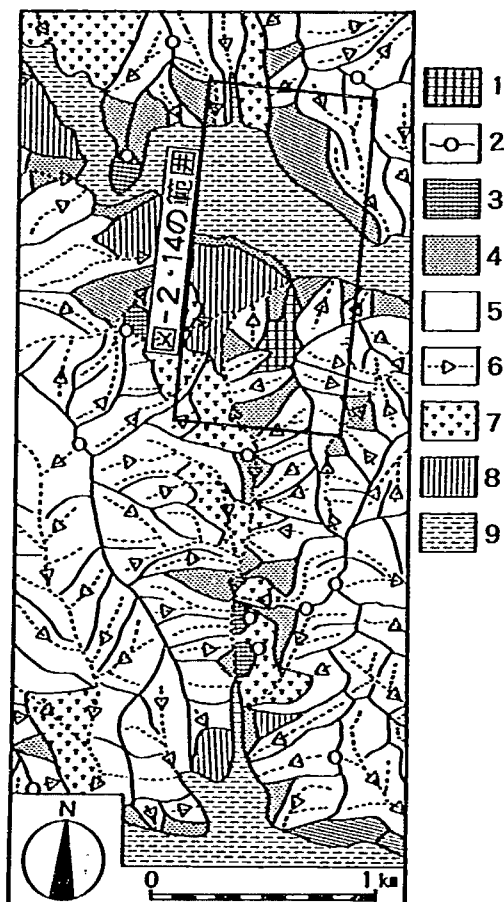


図-2.10 鹿島南地区における双葉断層付近の地形区分図 (1/4万空中写真対応)

*凡例およびその他事項は、図-2.9と同じ。

鹿島南地区では、南北方向を持つ川・谷筋によって構成される線状模様を中心線とし、東西に開析谷の発達した山地が存在することが大きな特徴である。

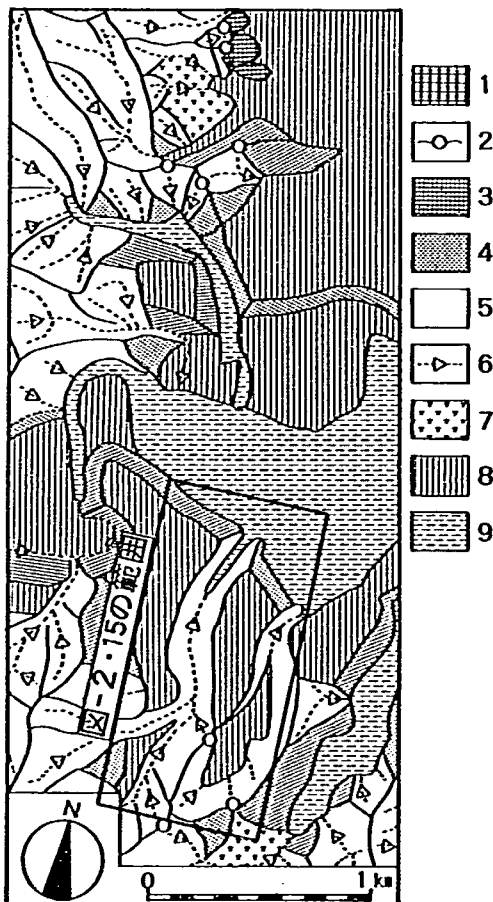
図－2.10の北部には東西に延びる幅300m程度の低地があるが、その低地の北に南北に長い開析谷と緩斜面が分布している。また低地の南には段丘が分布する。その段丘の南の背後には緩斜面が発達することが多い。さらに緩斜面の背後には開析谷が分布するが、そのような緩斜面と開析谷の関係は、前述した中心線的な線状模様を境面として東西に存在する。また中心線的な線状模様の近傍には尾根の末端が三角形を呈する谷のない山地斜面の分布もみられる。

図－2.10の中央にある谷中分水界（鞍部がある）から南へ1kmの所は、東から尾根筋、鞍部、尾根筋、谷のない山地斜面、緩斜面、鞍部、分離丘陵、川・谷筋という地形配列となっている地域がある。このうち鞍部に注目し、谷のない山地斜面や川・谷筋などの周囲の地形配列を総覧すると、この地域では、南東方向に2本分岐する双葉断層に関わると考えられる線状模様が認定できることとなる。

線状模様を認定できる地形境界線は、後述する図－2.19に示した。

(3) 浪江地区

浪江地区の地形区分図を図－2.11に示し、線状模様の地形構成要素を北から南へ追跡することで、双葉断層上の地形種や分布の特徴を記載する。



図－2.11 浪江地区における双葉断層付近の地形区分図 (1/4万空中写真対応)

*凡例およびその他事項は、図－2.9と同じ。

浪江地区は低地および段丘崖斜面の発達する段丘が広く分布する地区があり、そこでは線状模様が不明瞭である。しかし、段丘分布域以外では線状模様の構成要素が明瞭に認められる。

図-2.11の北には底辺の直径が約100mの円錐形を呈する3個所の分離丘陵が区分できる。分離丘陵の西には鞍部がある。分離丘陵は開析谷に比べてスケールが小さいこと、谷の出口を塞ぐように位置することより閉塞丘になっている。また、閉塞丘の存在により東向き of 川・谷筋が北方に変向し、左ずれの双葉断層活動の特徴を有する。分離丘陵の数百m西には、緩斜面が分布し、その南に鞍部→川・谷筋、狭長な低地と続く線状模様の構成地形が約1.5km南北方向に連続する。しかし、南北性の狭長な低地が谷幅500m程度の東西性の広い低地と接する所より南では線状模様となる地形境界線はない。

図-2.11の中央付近に広く分布する段丘を南北に分断する2つの大きな川・谷筋があるが、両者ともNEからNNW、NEへと流向を転じており、ともに双葉断層の左ずれ活動の結果を地形的に示している。それら2つの川・谷筋は鞍部で接しているが、その鞍部の南北でNNW方向の川・谷筋による線状模様が判読できる。

線状模様を認定できる地形境界線は、後述する図-2.21に示した。

(4) 富岡地区

富岡地区の地形区分図を図-2.12に示し、線状模様の地形構成要素を北から南へ追跡することで、双葉断層上の地形種や分布の特徴を記載する。

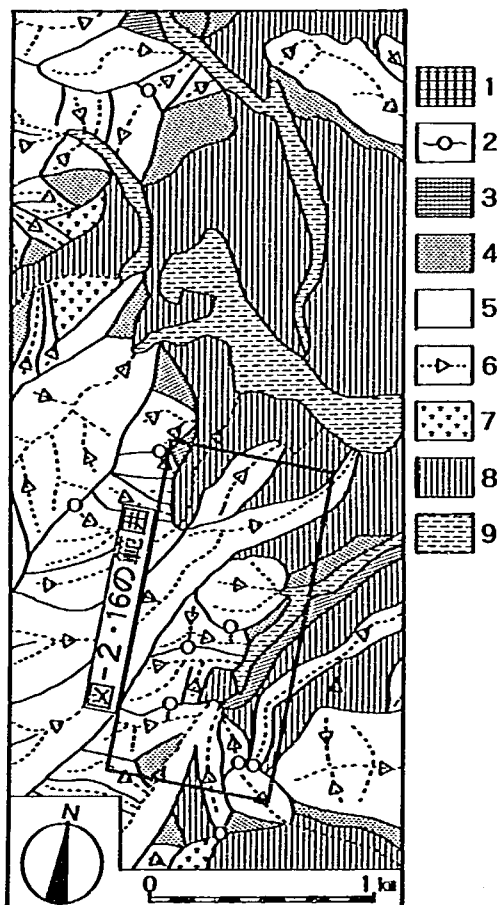


図-2.12 富岡地区における双葉断層付近の地形区分図 (1/4万空中写真対応)

*凡例およびその他事項は、図-2.9と同じ。

富岡地区も浪江地区同様に段丘が広く分布し線状模様を判読しにくい。特に図－2.12の北部では、谷のない山地斜面、段丘を刻んでNW-SE方向にのびる狭長な低地、段丘を刻む開析谷などが見られるが、線状模様を構成する地形配列が全く認められない。

図－2.12の中央付近のNW-SE方向に延びる低地より南に分布する段丘面上では、川・谷筋の向きがNEからN、NEへと流向を転じることが確認できる。また、図－2.12の中央に段丘面に取り込まれるように分布する延長500m程度のSW-NE延長の開析谷がある。この開析谷は、谷の出口の幅は狭いが、上流端の幅が250m程度と広いので、現在の流域面積でこれほどの開析谷が形成されることは不自然である。したがってこの開析谷の成因は、その南にある河道がより東の川に争奪され遺棄された結果と地形的に解釈できる。つまり、双葉断層の左ずれ活動の結果、東流していたこれまでの河道がより南の河道にシフトしたものである。

前述の河川争奪地点の500mほど南に、開析谷境界の尾根筋に3個の鞍部が認められる。西側の2個は川・谷筋とともに南北延長の線状模様を構成する。一方、最も東寄りの鞍部は、川・谷筋および段丘と低地の地形境界線とともに南北延長の線状模様を構成する。したがって河川争奪地点の南方では約200mの距離をもって並行する2条の線状模様が判読できる。

線状模様を認定できる地形境界線は、後述する図－2.22に示した。

2.2.2 1/1万空中写真による地形判読

ここでは、1/4万空中写真での地形区分図と、断層露頭の主に位置情報を参考にしながら、1/1万のカラー空中写真を用いて詳細な地形区分を試み、線状模様の構成地形を明らかにした。事例地域は、1/4万空中写真判読を行った鹿島北地区、鹿島南地区、浪江地区、富岡地区内にあり、かつ断層露頭を含む範囲である(1/1万空中写真による地形判読範囲は、2.2.1で1/4万空中写真判読を実施した各地区の地形区分図に示す)。地形区分は、鞍部、開析谷、川・谷筋、急傾斜な山地斜面、緩傾斜な山地斜面、凹凸のある山地斜面、段丘Ⅰ、段丘Ⅱ、低地、旧河道、崖錐および沖積錐、段丘崖斜面、河道及び河川敷、人工改変地とした。これらのうち、鞍部、開析谷、川・谷筋、段丘崖斜面は、1/4万空中写真判読でも同じ基準で区分できた。しかし、1/1万の空中写真判読ではより詳細に地形判読が可能のため、新たに、急傾斜な山地斜面、緩傾斜な山地斜面、凹凸のある山地斜面、段丘Ⅰ、段丘Ⅱ、低地、旧河道、崖錐及び沖積錐を区分した。また、河道及び河川敷と人工改変地を設定した。

- 1) 急傾斜な山地斜面：川や谷筋がほとんど見られない、山地に見られる平滑な急傾斜の斜面とした。
- 2) 緩傾斜な山地斜面：遷緩線を境界に主に急傾斜な山地斜面と接する、平滑な緩斜面の斜面とした。
- 3) 凹凸のある山地斜面：背後に滑落崖と思われる平滑な急斜面（急傾斜な山地斜面や、後述の段丘崖斜面など）を持つことが多く、凹凸のある表面形態をもつ斜面とした。
- 4) 段丘：比高により、高い順に段丘Ⅰ、段丘Ⅱ、低地とした。
- 5) 旧河道：河道変遷後に遺棄された河床跡で、低地に比べ数m低い。
- 6) 崖錐および沖積錐：背後に開析谷、急傾斜な山地斜面や段丘崖斜面等の斜面地形を持つ斜面である。

崖錐と沖積錐は、写真の写り具合で背後の斜面地形に谷筋の存否が不明瞭な場合もあるため、区分しな

い。緩傾斜な山地斜面が山地にあるのに対し、崖錐及び沖積錐は低地に接する位置にある。

以下に、観察した断層露頭付近の地質および地形状況を検討し、さらに線状模様がどのような地形から構成されているのかを検討する。

(1) 鹿島北地区

図-2.13は鹿島北地区の1/1万空中写真判読による地形区分図である。

鹿島北地区において観察できた断層露頭は、段丘Ⅱ（鈴木・小荒井²³⁾のⅢ面に相当）の段丘崖斜面にある（図の●）。そこでは砂岩・礫岩（第三紀中新世の塩手層）中に、幅35cmの破碎帯（破碎域は約2m）と断層粘土および上載の砂礫層が観察できるが、砂礫層に変位は見られない。鈴木・小荒井²³⁾の断層露頭は法面工事により消失している。断層露頭の上部の水田面での観察によれば、直上位置から東9mに比高1.1mの東落ちの段差がある。鈴木・小荒井²³⁾の断層露頭はその直下にあるものと思われる。ただ、この段差は1/1万空中写真判読でも段丘Ⅱを地形区分するほどの違いはなく、地形境界線としてとらえることは困難である。

図-2.13によると、鹿島北地区における線状模様（後述する）は、川・谷筋、鞍部、段丘崖斜面の下側線、崖錐及び沖積錐の他地形（山側の地形が多い）との境界線、急傾斜な山地斜面に対し緩傾斜な山地斜面、段丘、低地などとの地形境界線で構成される。

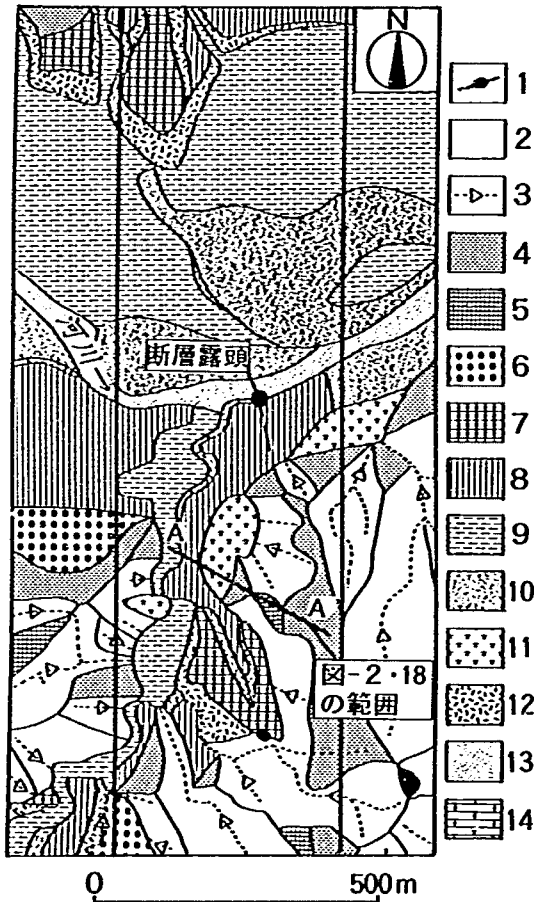


図-2.13 鹿島北地区における双葉断層付近の地形区分図（1/1万空中写真対応）

- 1：鞍部、2：開析谷、3：川・谷筋、
4：急傾斜な山地斜面、5：緩傾斜な山地斜面、
6：凹凸のある山地斜面、7：段丘Ⅰ、
8：段丘Ⅱ、9：低地、10：旧河道、
11：崖錐及び沖積錐、12：段丘崖斜面、
13：河道及び河川敷、14：人工改变地

* 2の開析谷の境界を示す実線は尾根筋、3の破線にのる三角の頂点方向が下流。

* 図-2.13の範囲は、図-2.9に示す。

(2) 鹿島南地区

図-2.14は鹿島南地区の1/1万空中写真判読による地形区分図である。

鹿島南地区において観察できた断層露頭は、低位面の段丘崖斜面にあり(図の●)、鈴木・小荒井²³⁾に記載がある。上盤側が第三紀中新世の塩手層で、下盤側が中生代の中ノ沢層である。そこでは幅1.35mの破碎帯(破碎域は3.2m以上)と断層粘土および上載の砂礫層が観察できるが、砂礫層に東落ちの約1.2mの変位が見られる。しかし断層露頭の直上の畑面では、段丘面の変位は観察できない。

断層露頭より北200m付近に、旧河道に囲まれ三角形に見える低位面がある。その低位面の東側は緩やかな東傾斜を持ち標高を下げる(鈴木・小荒井²³⁾のC-C'断面付近)。また、その北の広大な低地は南傾斜の扇状地状を呈している。その低地には南北にのびる農道があり、農道の東側が西側に比べおおむね1.4m低い(鈴木・小荒井²³⁾のB-B'断面付近)。これらは空中写真では段丘崖斜面として判読できなかった。

図-2.14の中程には東流する河川があり、その河川沿いに低地や段丘が発達する。また、南部と北部の山岳地域には、開析谷、鞍部、各種斜面、崖錐および沖積錐が分布する。特に南の山岳地域には、開析谷、急傾斜な山地斜面、緩傾斜な山地斜面、凹凸のある山地斜面、低地などで構成される南北性の並行する地形境界線が存在する。

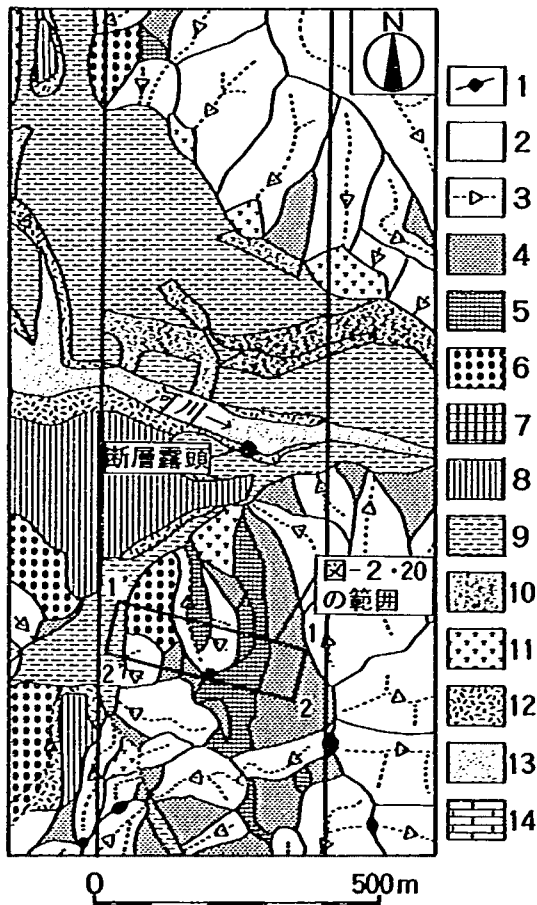


図-2.14 鹿島南地区における双葉断層付近の地形区分図(1/1万空中写真対応)

*凡例およびその他事項は、図-2.13と同じ。

*図-2.14の範囲は、図-2.10に示す。

(3) 浪江地区

図-2.15は浪江地区の1/1万空中写真判読による地形区分図である。

浪江地区で観察できた断層露頭(図の●)は、段丘Ⅰの段丘崖斜面にあり、久保ほか²¹⁾に記載がある。上盤側は白亜紀前期の国見山花崗閃緑岩で、下盤側が新第三紀の砂岩・礫岩からなる大年寺層である。露頭には幅20cm以上の断層粘土があり、植被のため粘土周辺の破砕帯の観察はあまりできない。しかし露頭の西側にある法面アンカー部60mを挟み、その先まで破砕花崗岩が約140m続いていることが観察できる。露頭の直上の段丘面に断層変位は観察できないが、段丘面全体が緩やかに西に傾斜する。

図-2.15の北には低地の中を東流する河川があって、段丘Ⅰの段丘崖を形成している。図-2.15の北半分は段丘Ⅰの広い分布がある。段丘Ⅰの段丘崖は開析谷が多く発達しており、下位には崖錐が発達している。図-2.15の南半分には急傾斜な山地斜面や開析谷の広い分布がみられる。

(4) 富岡地区

図-2.16は富岡地区の1/1万空中写真判読による地形区分図である。

富岡地区において観察できた久保ほか²¹⁾に記載のある2カ所の断層露頭(図中の●、○)では、両者とも上盤側は細粒砂岩からなる前期漸新世の浅貝層、下盤側は砂質泥岩からなる後期漸新世の大年寺層である。

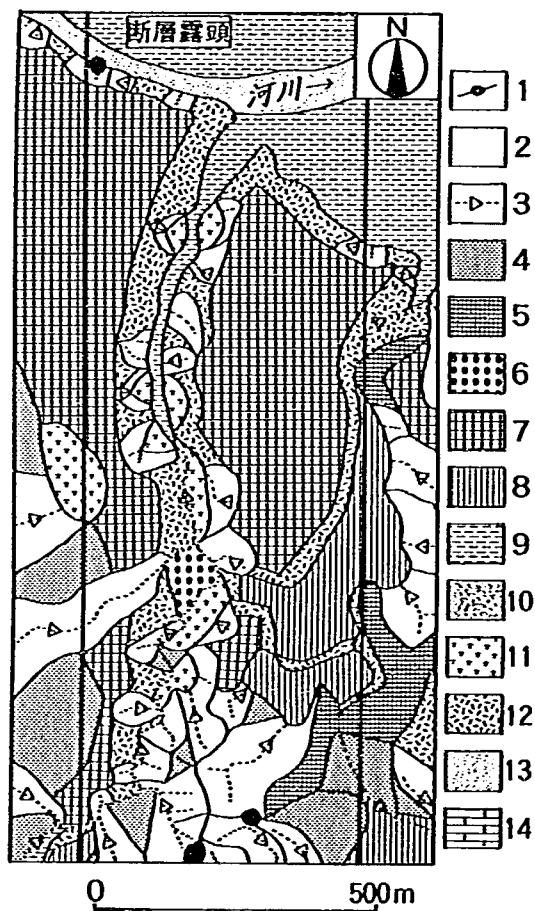
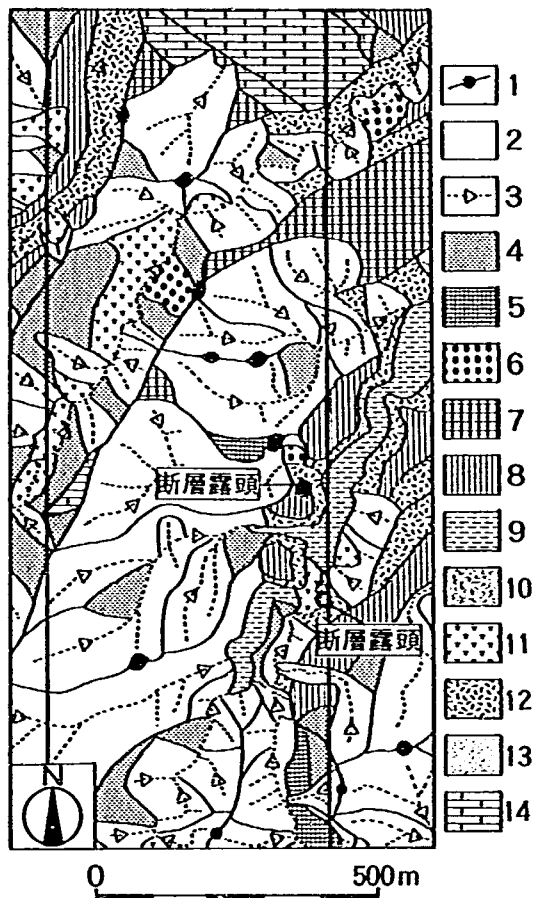


図-2.15 浪江地区における双葉断層付近の地形区分図(1/1万空中写真対応)

*凡例およびその他事項は、図-2.13と同じ。

*図-2.15の範囲は、図-2.11に示す。



図一 2.16 福岡地区における双葉断層付近の地形区分図 (1/1万空中写真対応)

* 凡例およびその他事項は、図一 2.13と同じ。

* 図一 2.16の範囲は、図一 2.12に示す。

●は段丘Ⅱの段丘崖斜面に位置する。破碎帯幅は160cmで、うち断層粘土が5cmで、上盤側に形成された破碎帯の幅は155cmある。○は川・谷筋に位置する。破碎帯幅は28cmで、うち断層粘土が3cmで、上盤側に形成された破碎帯の幅は25cmである。

図一 2.16では、元来分布していた段丘Ⅰ面の原面をNNE方向に流下する河川による浸食によって形成された地形分布が見られる。その特色が定高性を示す尾根筋を持つ開析谷の広い分布である。図一 2.16の西には山地があるために山地と段丘Ⅰ面の境界に急傾斜な山地斜面が分布する。

2.2.3 線状模様と断層位置の不一致の検討—写真スケールによる地形区分精度からの検討—

ここまで、現地調査で断層露頭を確認し、断層露頭周辺の地形区分結果との位置関係の検討を進めた。その結果、空中写真での地形判読の結果である線状模様付近で断層露頭は見いだしても、断層露頭の位置に線状模様が存在しないことが明白である。このことの要因として、人工的な地形改変や自然の地形変化が地形境界線を消失させた可能性も否定できない。しかしここでは、それ以外の要因と考えられる写真スケール、すなわち写真の解像度による線状模様の判読結果の違いから、線状模様と断層位置の不一致の要因について考察する。

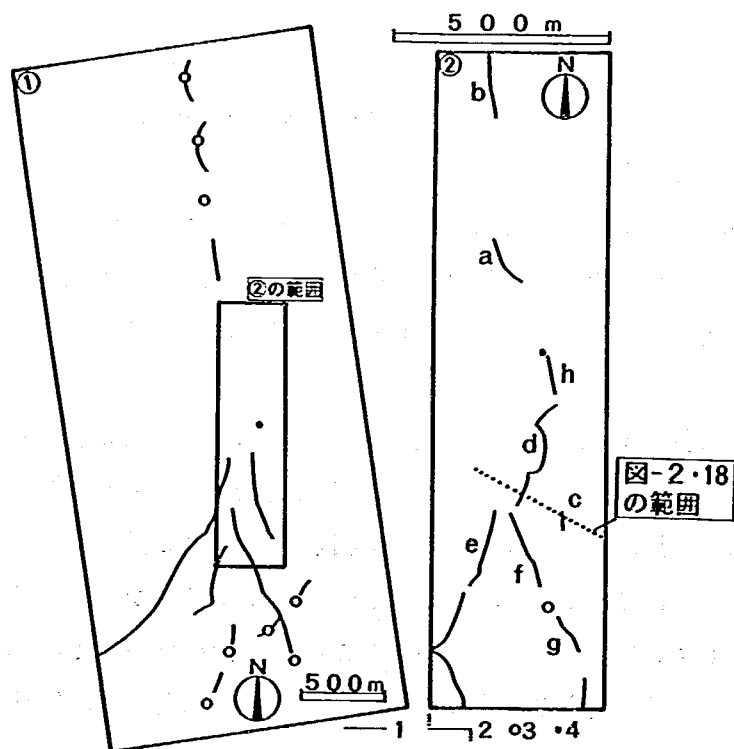
まず、1/4万空中写真で地形判読を実施した範囲の鞍部と地形境界線を抽出した。次に1/1万空中写真で地形判読を実施した範囲から、調査した断層露頭位置を含む範囲に絞り鞍部と地形境界線を抽出した。両者の

結果を、鹿島北（図－2.17）、鹿島南（図－2.19）、浪江（図－2.21）、富岡（図－2.22）の各地区で並記した。

（1）鹿島北地区

図－2.17の①に1/4万空中写真、②に1/1万空中写真の判読による地形境界線を示す。

図①の北部では地形境界線は、連続し1条の線状模様を形成する。しかし南部では、①の中の「②の範囲」ではNNE-SSW延長の1条とNNW-SSE延長の2条の線状模様判読される。また、露頭位置に地形境界線はない。図－2.17の②と図－2.13を対比すると断層露頭より北では、旧河道と低地との地形境界線a、段丘Ⅰの段丘崖斜面と段丘Ⅱの地形境界線bが線状模様を構成するほかは、低地や旧河道のため地形境界線はみえない。断層露頭より南では、最も東側に急傾斜な山地斜面と緩傾斜な山地斜面の地形境界線cがあるが、この地形境界線は単独に存在し、線状模様を構成するようにはみえない。その西には三角形を呈する急傾斜な山地斜面や崖錐及び沖積錐による地形境界線d、段丘ⅠおよびⅡの段丘崖斜面による地形境界線eなどによりNNE-SSW延長の線状模様が構成される。また、段丘Ⅰの段丘崖斜面による地形境界線f、鞍部、川・谷筋で構成される地形境界線gによりNNW-SSE延長のものが分枝している。空中写真判読では、断層露頭付近には不明瞭な線状模様は確認できるが、高度差のある地形境界線は確認できない。ただし、現地調査によると、その線状模様は前述した比高1.1mの畦による水田境界線である（図中のh）。また断層露頭は、最も東側の地形境界線cの延長上にある様にもみえる。



図－2.17 鹿島北地区の地形境界線の判読結果

①：1/4万の空中写真を使用。②：1/1万の空中写真を使用。

1：地形境界線、2：谷の横ずれ、3：鞍部、4：断層露頭

次に代表的な地形境界線について、図-2.13および図-2.17のA-A'測線での地形模式図を南西方向から望んだ鳥瞰図として作成した(図-2.18)。図-2.18のように、この区域には急傾斜な山地斜面と緩傾斜な山地斜面の地形境界線c、急傾斜な山地斜面と崖錐の地形境界線dがある。cとdの形成要因を地形学的に解釈すると、「急傾斜な山地斜面の侵食に伴う崖錐等の二次的な堆積物による地形(緩傾斜な山地斜面、崖錐)が発達し、そのような侵食および堆積の場の境界線である」という説明が可能のため、これらの地形境界線に関しては断層変位地形の根拠が薄い。

(2) 鹿島南地区

図-2.19の①に1/4万空中写真、②に1/1万空中写真の判読による地形境界線を示す。

図①の北部では地形境界線は、2条の線状模様を形成する。一方、南部では①の中の「②の範囲」において断層露頭の西にN-S延長の2条の線状模様がある。断層露頭の位置に地形境界線はない。そこで、図-2.19の②と図-2.14を対比すると断層露頭より南を見ると、多数の地形境界線があり、3~4条の線状模様が判別できる。図-2.19の線状模様aおよびcは急傾斜な山地斜面と緩傾斜な山地斜面の境界、bは傾斜方向が異なる緩傾斜な山地斜面同士の境界、dおよびd'は開析谷と緩傾斜な山地斜面の境界、eは凹凸のある山地斜面と低地の境界である。このように大スケールの空中写真では、多くの地形が区分されるため多数の線状模様が精度良く判読できる一方で、線状模様数の増加により活断層に関わる線状模様の認定が難しくなる問題が生じる。

ここでは、図-2.14および図-2.19に示す図-2.20の範囲について南西方向からの鳥瞰図で表現し(図-2.20)、活断層起源の線状模様の抽出を地形的な解釈から試みる。aおよびdの判読に関わる緩傾斜な山地斜面は、急傾斜な山地斜面や開析谷との位置関係から、崖錐のような二次堆積物の形成する地形面と考えられる。したがって、aおよびdは活断層により直接形成された地形境界線の可能性は低い。また、eは沖積低地の分布に支配された地形境界線を呈しており、河川営力が関与した地形境界線の可能性が高い。一方、b、c、d'は、西側(相対的に低地側)の地形に対する遷急線で、通常的地形変化より断層変位の方が成因を説明しやすいこと、また、それらの南方向に谷の横ずれが判読できることより、活断層の可能性の高い地形境界線と見なせる。

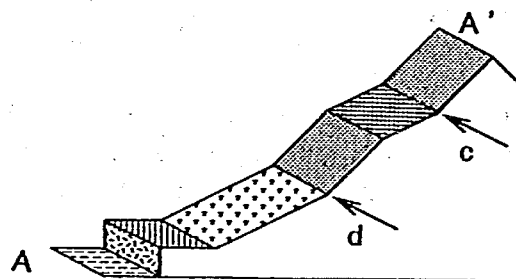


図-2.18 鹿島北地区の地形と地形境界線の関係模式図

*A-A'の位置およびc、dの地形境界線は、図-2.13および17に示す。

*地形区分の凡例は図-2.13と同じ。

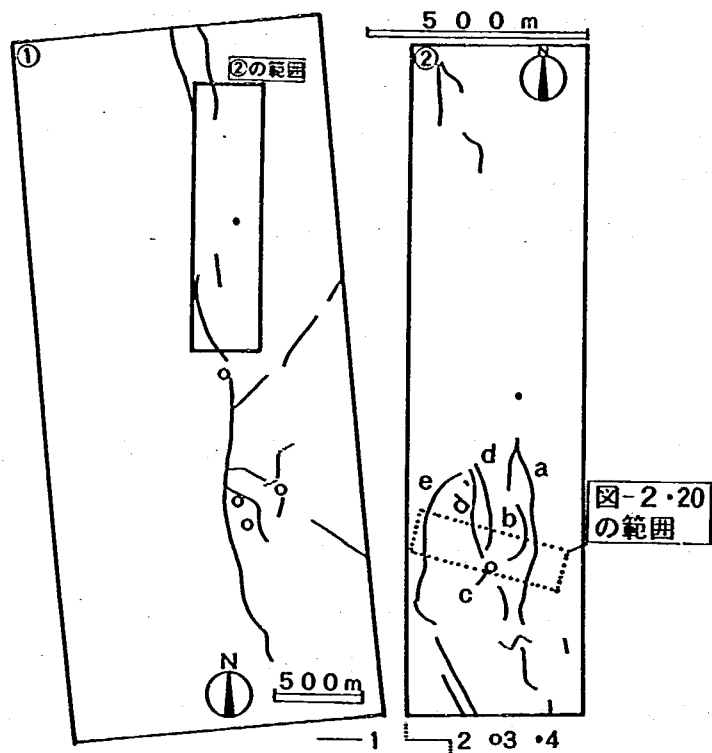


図-2.19 鹿島南地区の地形境界線の判読結果
 *凡例およびその他事項は、図-2.17と同じ。

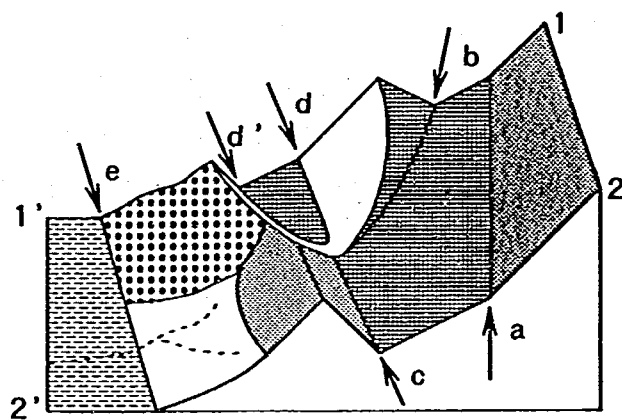


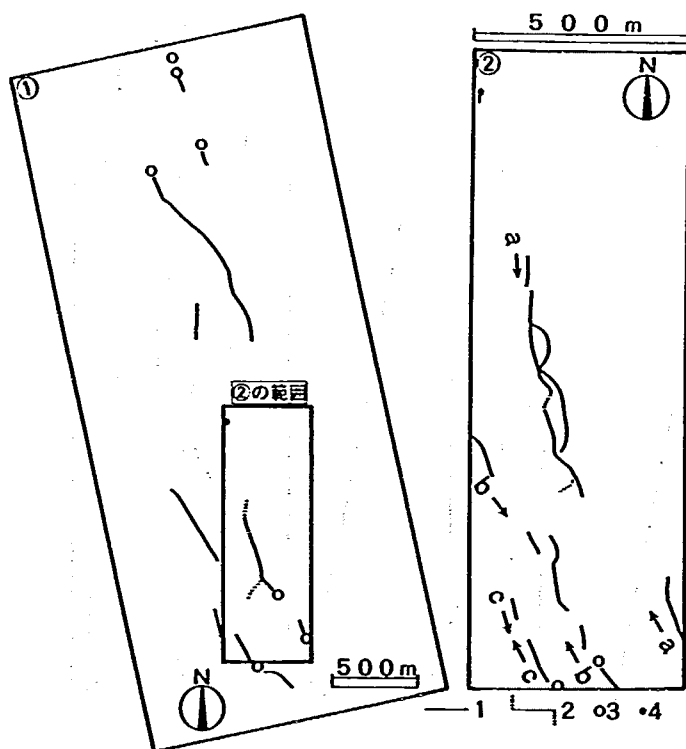
図-2.20 鹿島南地区の地形と地形境界線の関係模式図
 *1-2-2'-1'の四角範囲およびa~eの地形境界線は、図-2.14および19に示す。
 *地形区分の凡例は図-2.13と同じ。

以上の結果を、文献²³⁾と比較すると、b、c、d'の北数100mの位置に西上がりの断層露頭（図中の●）の記載があり、地形判読の結果が支持される。これより線状模様となる地形境界線の形成される理由を地形的に解釈することで、活断層の可能性の高い線状模様を客観的に見出せることも分かった。

（3）浪江地区

図－2.21の①に1/4万空中写真、②に1/1万空中写真の判読による地形境界線を示す。

図①の北部では地形境界線は、図の北部では1条の線状模様を形成する。一方、南部では①の中の「②の範囲」において断層露頭の南にNNW-SSE延長の鞍部と地形境界線から構成される2条の線状模様がある。しかしながら、断層露頭の位置に地形境界線はない。そこで、図－2.21の②と図－2.15を対比すると断層露頭より北では、低地であるため線状模様を構成する地形境界線は全く認められない。しかし断層露頭より南ではNNW-SSE延長の地形境界線よりなる3本の線状模様があるように見える。最も東の線状模様aは、段丘Iを掘り込むような狭長な低地沿いに明瞭にみえる。線状模様は、川・谷筋の線（左ずれを示す）と、低地に対する段丘崖斜面、開析谷、崖錐や沖積錐との地形境界線、段丘崖斜面と崖錐・沖積錐との地形境界線で構成されている。図の中央付近で線状模様は崖錐および沖積錐に対して、段丘崖斜面や開析谷との地形境界線で構成されており、そこでは二本に分かれるようにみえる。西にある線状模様bは、急傾斜の山地斜面に対する段丘I、崖錐及び沖積錐の地形境界線、開析谷に対する崖錐及び沖積錐との地形境界線、急傾斜の



図－2.21 浪江地区の地形境界線の判読結果

*凡例およびその他事項は、図－2.17と同じ。

*a、b、cは、認定した線状模様を示す。

山地斜面同士の地形境界線（川・谷筋）、川・谷筋、鞍部で構成される。更に西にある線状模様cは川・谷筋と鞍部によって構成される。

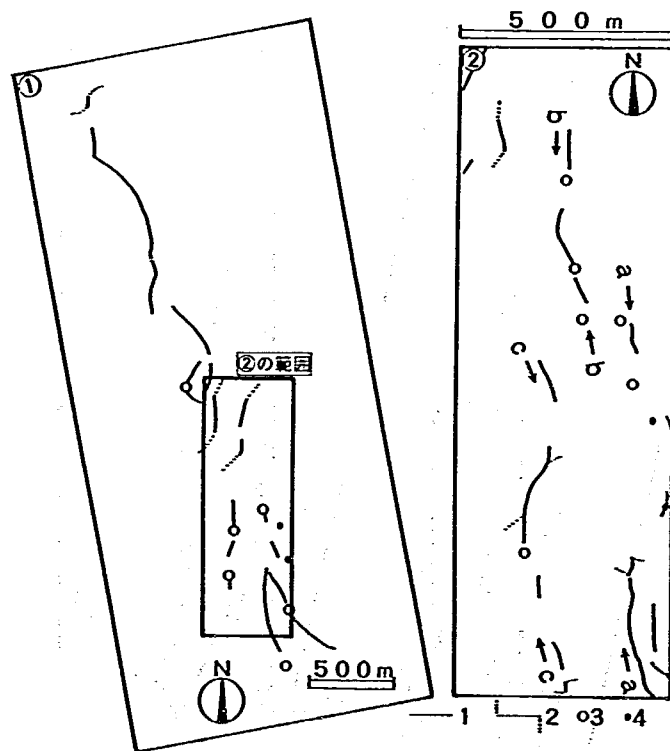
断層露頭は、線状模様aの延長上にある様にみえるが、aと断層露頭との連続性は段丘Ⅰの分布のため不明瞭である。しかし、3本の線状模様のみられる幅が約300mあることと、既述した断層露頭から西に破碎花崗岩が200m程度続くことは、地形と地質との関連性を示すものと思われる。

（４）富岡地区

図－2.22の①に1/4万空中写真、②に1/1万空中写真の判読による地形境界線を示す。

図①の北部では地形境界線は、1条の線状模様を形成する。一方、南部では①の中の「②の範囲」においてN-S延長の鞍部と地形境界線から構成される2条を越える線状模様がある。しかしながら、断層露頭の位置に線状模様はない。そこで、図－2.22の②と図－2.16を対比すると、富岡地区の線状模様は断片的に分布し、連続性が把握しにくいものの、南北に3条あるようにみえることが分かる。

東の線状模様aには、その延長線上もしくは近傍に断層露頭（図中の●）がある。線状模様aは段丘Ⅰを掘り込む開析谷の境界となっている尾根上の鞍部から南に延長するようにみえる。すなわち線状模様aは鞍部の南に川・谷筋、鞍部、段丘崖斜面と低地との地形境界線、川・谷筋（左ずれを示す場所がある）から構成される。しかし、左ずれを示す川・谷筋の位置より南では、線状模様aの東にある緩傾斜の山地斜面に対す



図－2.22 富岡地区の地形境界線の判読結果

*凡例およびその他事項は、図－2.17と同じ。

*a、b、cは、認定した線状模様を示す。

る急傾斜の山地斜面や開析谷との地形境界線が線状模様aを構成している。西の線状模様bは、図の北部にある。線状模様bは広大な人工改変地の南にある開析谷中の川・谷筋、鞍部、急傾斜な山地斜面に対する崖錐・沖積錐や凹凸のある山地斜面との地形境界線で構成される。この線状模様bは線状模様aの始まる共通の尾根上の鞍部で終わるように見える。西の線状模様cは、川・谷筋、鞍部で構成され、左ずれを示す川・谷筋がある。

以上の検討より、1/4万より1/1万空中写真の方が、断層露頭のより近くに線状模様を、まれには断層露頭位置に線状模様を判読することができることが分かった。すなわち、写真スケールが大きいほど線状模様は断層露頭位置に近接して判読可能ということを示している。しかし、図-2.19に代表されるように写真縮尺を大きくすることで線状模様の数が増え、活断層起源の線状模様の認定が難しくなる場合もあることが分かった。そのため、より判読の精度を高めるためには、図-2.18や図-2.20に示したような線状模様を構成する地形を明らかにする解釈も必要になってくる。

2.2.4 断層位置にある地形の現地観察結果

写真判読では断層露頭周辺に顕著な線状模様となる地形境界が認定できないものの、現地における断層露頭周辺の地形観察では、断層の存在と深く関連すると考えられる微地形が見い出された。

浪江地区の断層露頭の近くには、空中写真では段丘崖斜面と開析谷しか判読できない(図-2.15)。しかし、図-2.23のように露頭周辺には、上盤側に形成された窪地状の掘り込み(凹地)、その掘り込みの頭部方向にある小さな尾根筋の鞍部、さらにその鞍部の東側の小さな谷を越えた尾根筋にある鞍部と、断層に沿って断層変位あるいは断層の存在に起因する地形変化によると考えられる微地形が確認できた。尾根上の鞍

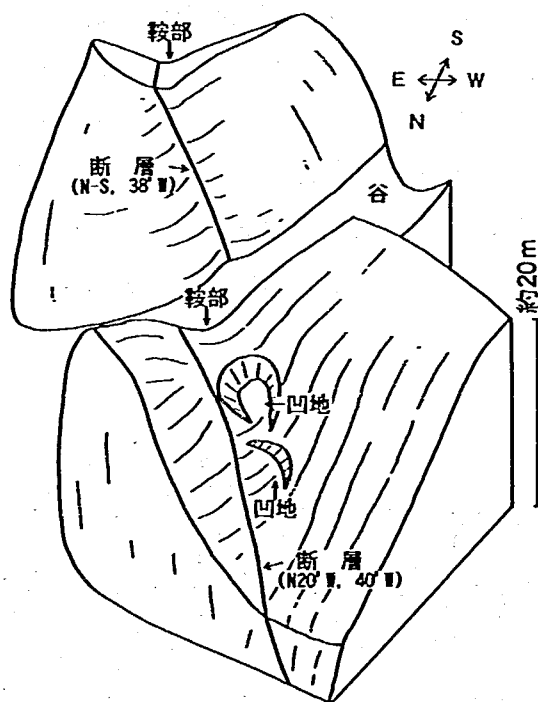


図-2.23 浪江地区の断層と地形の関係模式図

部は図-2.23で示すように地質的に確認された断層の数m西に位置するが、図の手前方向で高度が下がるにつれ鞍部の位置が断層に近づき一致するようになる。凹地も断層の数m西にあり、かつ斜面に位置する。この凹地は、その形態や存在位置から、田村²⁴⁾が提案した、丘陵地の微地形要素にあるside slopeを持つhead hollowに類似する地形と考えられる。なお、凹地の頭部が尾根部で鞍部に連続するため、鞍部の存在は凹地形成要因と関係するものと思われる。

富岡地区では、空中写真から断層露頭の近くに線状模様を判読できないが、断層露頭のすぐ西の段丘崖斜面に、図-2.24のような地すべり地形を観察できる。また図-2.16によれば地すべり地形の北側の尾根筋には鞍部があり、その東に滑落崖を伴う凹凸のある山地斜面が存在する。

このようなことから、断層露頭位置であっても地形単位が小さいため、写真のスケールによっては線状模様が確認できない場合があることが分かった。しかし、断続する地形境界線を点線でつなぐなどして1本の線状模様と見なせば、その推定位置にやはり断層露頭が位置していることがわかる。

2.3 石廊崎断層-1/4万空中写真による地形判読-

石廊崎断層は伊豆半島の南端にWNW-ESE方向の延長を持つ活断層である。石廊崎断層の地質について、地質調査所²⁵⁾、角²⁶⁾、活断層研究会⁸⁾を用いて図-2.25にまとめた。角²⁶⁾によれば、全域が中新世から鮮新世にわたる第三系からなり、局地的に第四系が分布する。本地域の第三系は主として浅海底での火山活動に伴う火山噴出物からなり、その噴出物は一般に水成碎屑岩と互層している。図に示す範囲には、第三紀水成碎屑岩の下賀茂砂岩層（中流凝灰質）が広くみられ、火山噴出物が介在する。それらは下位より二条石英安山岩、一色凝灰岩、青市玄武岩類、大賀茂流紋岩、石室崎安山岩類（溶岩）、須崎安山岩類（火山角礫岩）であり、これらと同時あるいはより後期に貫入した石英安山岩および閃緑岩の貫入岩類もある。本地域の第四系では沖積層のみを記載した。また、図には活断層研究会⁸⁾を参照し、伊豆半島南部に分布する石廊崎断層、上賀茂断層をあわせて記載した。これらの断層の方向はおおむねWNW-ESEである。

次に、断層変位地形の可能性のある地形分布を面的に明らかにすることを目的に、米軍の1/4万空中写真を用いて、伊豆半島の南端部に位置する石廊崎断層付近の地形区分を行った（図-2.26）。石廊崎断層の判読では、北武断層における線状模様の客観的な判読方法と面的な地形区分方法を併用した。地形区分は、山地・丘陵地、鞍部、谷のない山地斜面、谷のある山地斜面、川・谷筋、段丘、低地とした。

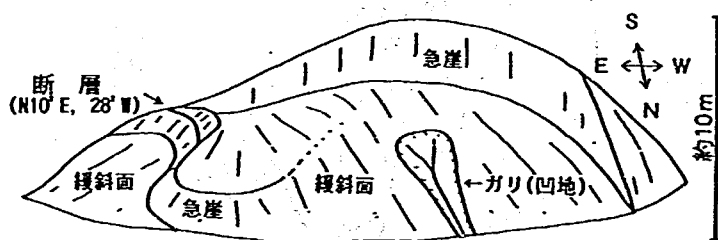
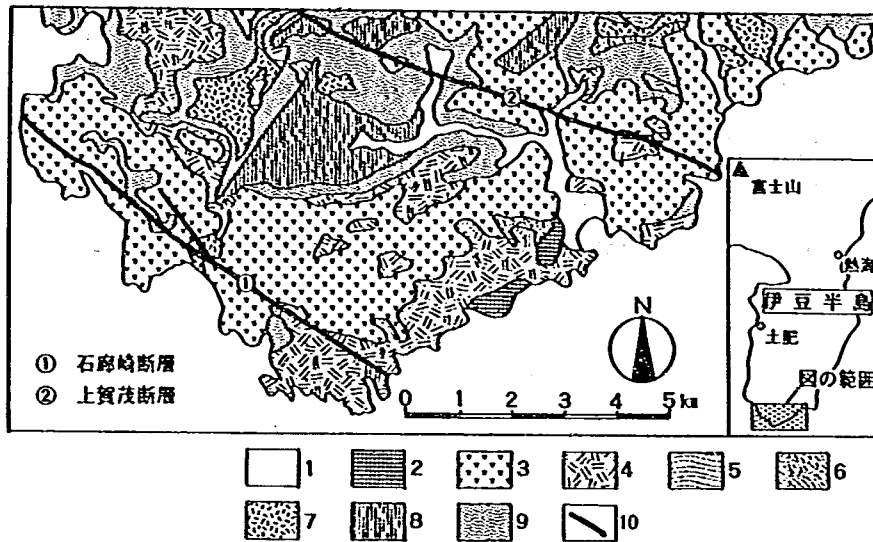
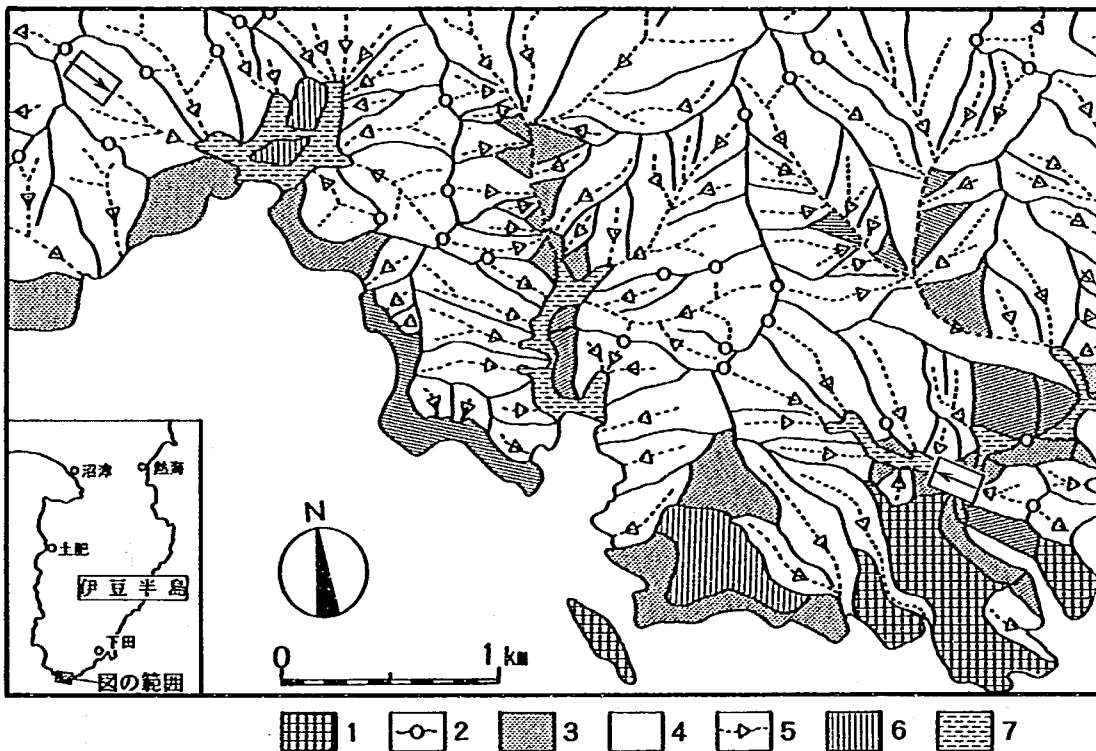


図-2.24 富岡地区の断層と地形の関係模式図



図一2.25 石廊崎断層およびその周辺の地質図 (文献²⁵⁾, ²⁶⁾, ⁸⁾ より編集)

- 1 : 沖積層、2 : 貫入岩類、3 : 須崎安山岩類、4 : 石室崎安山岩類、
 5 : 大賀茂流紋岩、6 : 青市玄武岩類、7 : 一色凝灰岩、8 : 二条石英安山岩、
 9 : 下賀茂砂岩層、10 : 断層、① : 石廊崎断層、② : 上賀茂断層
 * 2 ~ 9 は第三紀中新~鮮新世の白浜層群に属する。



図一2.26 地形区分図 (1/4万空中写真対応)

- 1 : 山地・丘陵、2 : 鞍部、3 : 谷のない山地斜面、4 : 谷のある山地斜面 (開析谷)、
 5 : 川・谷筋、6 : 段丘、7 : 低地
 * 4 の開析谷の境界を示す実線は尾根筋、5 の破線にのる三角の頂点方向が下流。
 * $\rightarrow$ 、 $\leftarrow$ は、石廊崎断層位置を示す。

図－2.26には、石廊崎断層の位置に一致するWNW-ESE方向の延長を持つ線状模様（図中に矢印を表示）が判読できる。その線状模様は大半が鞍部と谷で構成されているが、図－2.26の南東では狭長な低地や三角末端面で線状模様が構成されている。また図－2.26の中央部にNNW-SSE方向の延長を持つ線状模様が判読できる。その線状模様は大半が三角末端面の地形境界線で構成されている。

このように、場合によっては線状模様の判読と、面的な地形区分を同時に行うことでも、活断層に関わる線状模様の認定ができる。

3. 線状模様構成地形と断層の位置に関する検討

3.1 線状模様の定量的な判読法の検討

3.1.1 1/4万空中写真による地形判読

断層露頭を現地調査した代表的な活断層を対象に、1/4万空中写真による客観的な線状模様の判読方法の検討結果を踏まえ、線状模様の判読を行った。線状模様の判読の条件を次のように定めた。

1) 鞍部、谷、または崖地形（三角末端面や段丘崖）と低位の面との地形境界線。

断層の存在によって侵食されやすい尾根上において形成される鞍部と、断層の存在によって線的に侵食されやすいために形成される谷に着目した。さらに、断層の持つ縦ずれ成分によって上下二つの地形面が形成されることに伴い、境界には崖地形が形成される。そのような崖地形と上下二つの地形境界線のうち、崖地形と下位の地形面との境界線に着目した。

2) 断層活動の累積の結果で形成された山地の大局的な延長方向に並行するもの。

判読する地域を含むより広範な地域の地形分布に活断層が影響を与えていることをふまえ、判読に際して活断層起源の線状模様の方向性をおおよそつかむために、活断層の縦ずれ成分の蓄積を反映していると考えられる山地の延長方向に着目した。

3) 地塊単位で見た時に隆起（山地）側に近い位置に見えるもの。

狭長な低地を挟んで相対する山地や丘陵地のような地塊が存在するときには、山地や丘陵地と低地との間に二つの線状模様が判読される可能性が高い。そこで、現在、隆起傾向にあると考えられる地塊と低地の境界に着目した。

なお、ここでは活断層起源の線状模様と地形配列が、その他の成因による線状模様と地形配列とどのように相違するかを比較検討することを目的とし、既知の活断層起源の線状模様とその周囲の線状模様の写真判読を行った。なお、全く地質情報のない地域における活断層起源の線状模様の抽出方法については未検討である。

以下に線状模様の判読手順を示す。

1) 空中写真を実体視して活断層に伴う線状模様の候補を把握する。実作業では、ステレオペアの空中写真を実体視しつつ、空中写真を複写した作業用の紙に線状模様が見える位置に線を描画した。線状模様が追跡できない場合には、それまで追跡してきた線状模様の延長方向にある隣の線状模様までの最短コースで連続させた。(図Ⅰ類)

2) 描画された線の認定根拠を示す地形区分図を作成する。(図Ⅱ類)

01: 鞍部を認定し、鞍部の存在する尾根筋を認定する。(侵食線的地形要素の判読)

02: 谷筋を認定し、谷筋を形成する流域を限る尾根筋を認定する。(侵食線的地形要素の判読)

03: 三角末端面や段丘崖等の崖地形を認定する。(縦ずれセンスの判読)

04: 線状模様の見えない堆積地形や山地部を認定する。(縦ずれセンスの判読)

3) 2) で作成された図と空中写真を用いて、横ずれ判読図を作成する。(図Ⅲ類)

05: 認定した鞍部を挟む尾根のずれを認定する。(横ずれセンスの判読)

06: 線状模様を横断する谷のずれを認定する。(横ずれセンスの判読)

以上の01~04の作業結果は地形区分図(図Ⅱ類)に、05,06の作業結果は横ずれ判読図(図Ⅲ類)にまとめる。

凡例のうち、尾根筋、崖地形、堆積地形、山地部各々の地形概要を以下に記載する。

- 1) 尾根筋: 谷筋を形成する流域を限る尾根筋。
- 2) 崖地形: 基盤からなる山地や段丘等の堆積地形を区切る平滑な急崖斜面。
- 3) 堆積地形: 段丘や扇状地等の礫質地形面、沖積低地の砂-シルト-粘土の堆積面。
- 4) 山地部: 基盤からなる山塊、開析が進み丘陵化した堆積地形。

3.1.2 判読結果とその評価法

(1) 各断層付近の線状模様の特徴

各断層を対象に写真判読した結果を、3.1.1の図Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ類の様式でまとめた。

水縄断層系の益生田断層付近の結果を図-3.1に示す。沖積低地との境界に認定される益生田断層①(花村ほか²⁷⁾)は、主に崖地形で構成されるが、横ずれ地形が判読できない。一方、線状模様②、③は主に鞍部と谷筋で構成され、尾根の右ずれが判読できる。②は③に比べて山地部に遮られて線状模様の連続性が悪い。

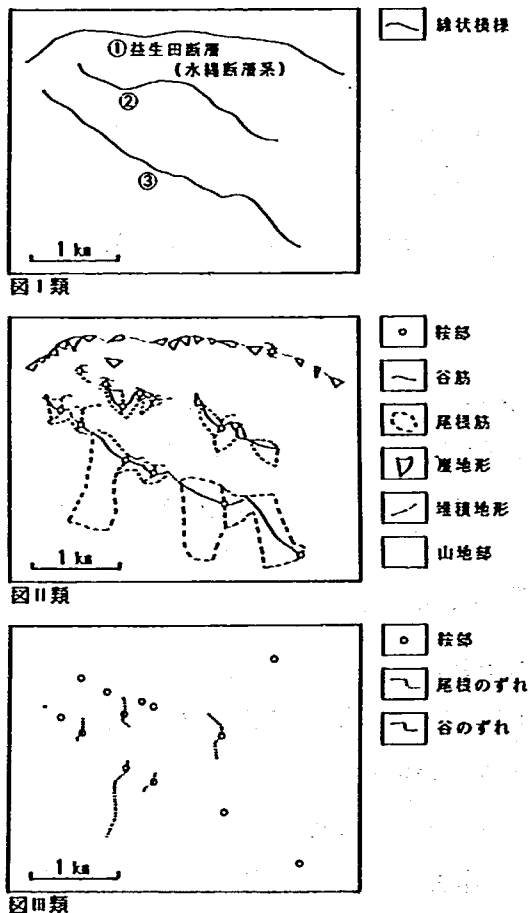


図-3.1 益生田断層(水縄断層系)およびその周辺の線状模様判読結果

* 図Ⅰ類: 線状模様の概形、
図Ⅱ類: 線状模様の構成地形、
図Ⅲ類: 線状模様にある断層変位地形。

中央構造線の伊予断層付近の結果を図-3.2に示す。伊予断層①（水野ほか²⁸⁾）は、崖地形、鞍部、谷筋の各地形区分が、それぞれ複数個で構成されている。また、尾根や谷の右ずれが判読される。一方、線状模様②、③もそれぞれ複数個の崖地形、鞍部、谷筋で構成されているが、堆積地形により線状模様はとぎれがちである。また、②では、北側では西に、南では東に山地を配しており、その境界部は鞍部と谷筋である。③では、鞍部が他より多いことが特徴である。

中央構造線の石鎚・畑野断層付近の結果を図-3.3に示す。①は複数個の崖地形、鞍部、谷筋で構成されている。②は沖積平野との境界線で構成されるもので、大半が崖地形である。他の線状模様比べ崖地形が大きい。③は、段丘による崖地形で構成され堆積地形によって断続し、全体で1 km程度しかない。畑野断層④（水野ほか²⁸⁾）は西では鞍部、谷筋で、東では崖地形で構成され、全般に堆積地形によって断続される区間が長い。石鎚断層⑤（水野ほか²⁸⁾）は畑野断層が鞍部、谷筋で構成される区間で同様の地形区分を示し、その他では崖地形で構成される。他の線状模様比べ崖地形の大きさと走向にばらつきが多くなっている。図Ⅲ類でみると図の西側では畑野、石鎚断層ともに尾根、谷の右ずれが確認できるが、東では石鎚断層に横ずれは認められない。その地域では逆に畑野断層に谷の横ずれが確認できる。①、②、③に横ずれはない。

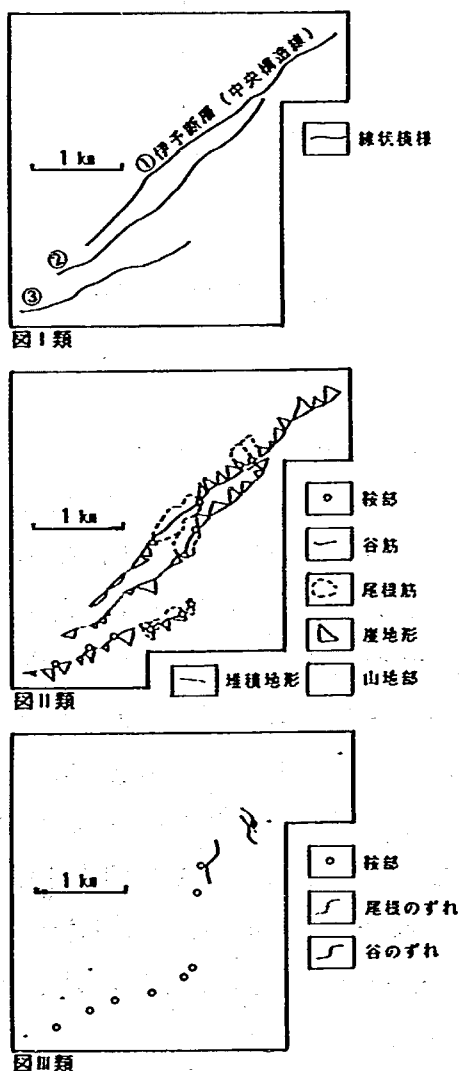
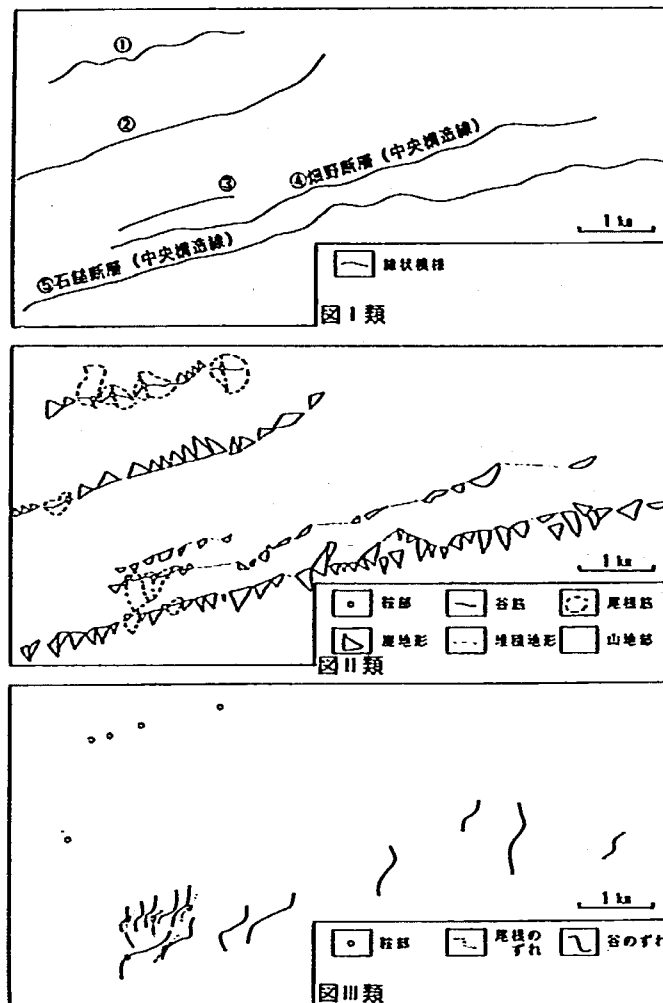


図-3.2 伊予断層（中央構造線）およびその周辺の線状模様判読結果

* 図I、II、III類の内容は図-3.1と同じ。

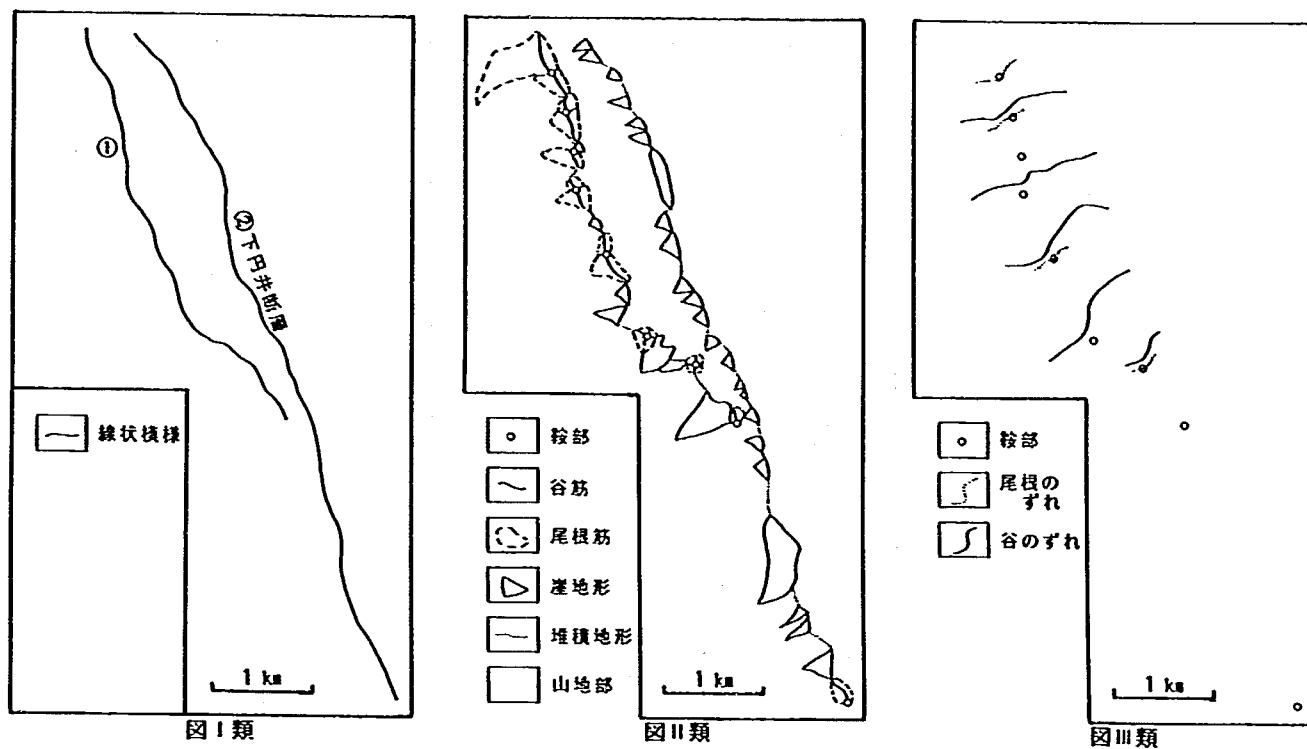


図一 3.3 畑野・石鎚断層（中央構造線）およびその周辺の線状模様判読結果
*図 I、II、III 類の内容は図一 3.1 と同じ。

下円井断層付近の結果を図一 3.4 に示す。沖積低地との境界に認定される下円井断層②（浅川・平川²⁹⁾）は、主に崖地形で構成されるが、横ずれの地形が判読できない。一方、線状模様①は主に鞍部と谷筋で構成され、谷と尾根の左ずれが判読できる。①は②に比べて屈曲が大きい。崖地形の走向もばらついている。

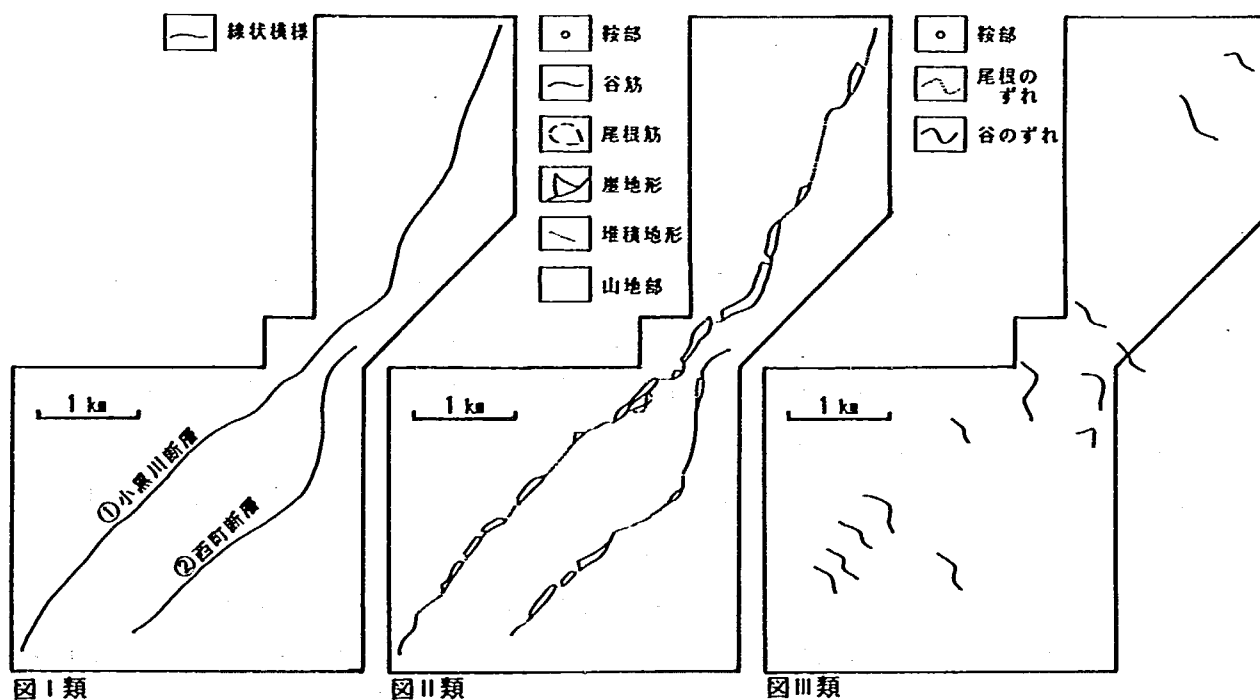
小黒川・西町断層付近の結果を図一 3.5 に示す。段丘分布域に段丘崖の連続として認定される小黒川断層①（松島³⁰⁾）は、狭長な崖地形で構成される。また沖積低地との境界に認定される西町断層②（松島³⁰⁾）は、①と同様に狭長な崖地形で構成される。右横ずれが①、②ともにみられ、その程度も同じ様にみえる。

阿寺断層付近の結果を図一 3.6 に示す。阿寺断層①'（①の北）は、ほぼ鞍部と谷筋で構成され屈曲度が著しく高い。尾根と谷の左横ずれが多く読める。そのため、流域全体がくの字に曲がっているものがある。阿寺断層①（佃ほか³¹⁾）は、大半が崖地形で構成されているが、南では鞍部と谷筋が線状模様を構成する。①'と同様に尾根と谷の左横ずれが読め、くの字に曲がっている流域も明瞭である。線状模様②は崖地形のみで形成されており、中に三日月状を呈する地滑りの滑落崖と思われる崖地形が判読された。横ずれは認められない。



図一3.4 下田井断層およびその周辺の線状模様判読結果

*図Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ類の内容は図一3.1と同じ。



図一3.5 小黒川・西町断層およびその周辺の線状模様判読結果

*図Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ類の内容は図一3.1と同じ。

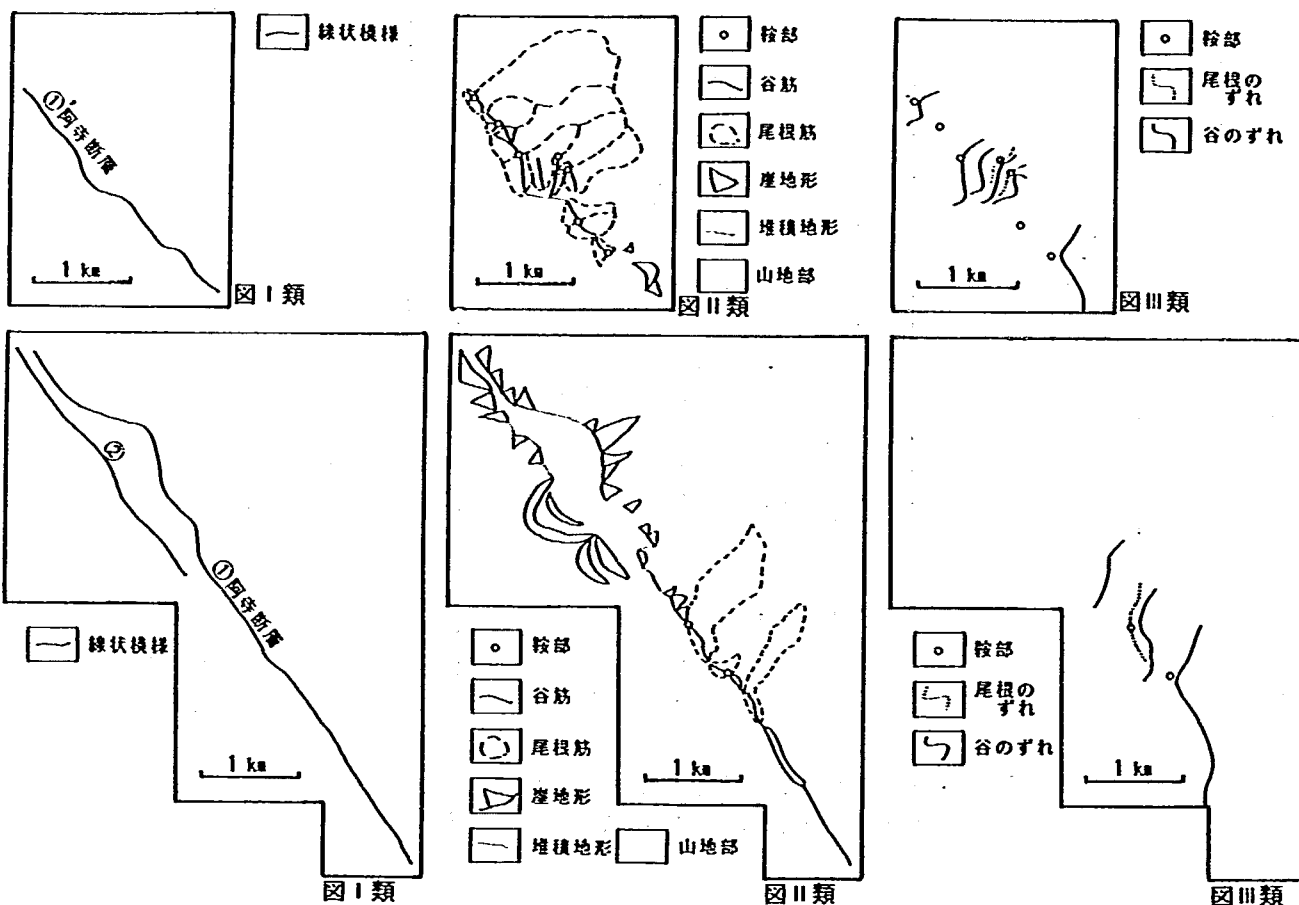


図-3.6 阿寺断層およびその周辺の線状模様判読結果

*図I、II、III類の内容は図-3.1と同じ。

*①'の南端が①の北端と接する。

(2) 図化成果と地形分布の規則性

各断層で地形分布を検討した結果、活断層であるなしに関わらず地形分布の量的な共通性があり、逆に活断層とされるものの間にも量的な相違が見られた。また、活断層の根拠となる横ずれの判読結果でも、これまで活断層とされた位置に横ずれが見られず、断層位置と指摘されていない線状模様に見られる場合があることも分かった（この線状模様が未知の活断層に起因する可能性は否定できない）。

したがって現時点では地形分布全体を数量的に扱い、絶対的な活断層の指標を地形量から見いだすことは不可能と言わざるを得ない。しかし、これまでの定性的な活断層の認定に比べ、本研究で実施した地形判読方法では、地形構成が単純に示せるため確実度等の量的評価は可能と考える。特に、対象となる特定の範囲に絞れば、線状模様の位置と地形分布の判読結果から、地形および地質的解釈を実施して、活断層に由来する注意すべき線状模様の認定がしやすくなるものとする。

このような背景から、地域別に線状模様を構成する地形組み合わせを個々に比較検討すると、地形セットが3つにタイプ分けできる。

1) タイプA：主に鞍部と谷線による線状模様

タイプAの線状模様は、山地に存在するため、堆積地形等による地形境界線の断絶が少ないものであり、谷線が多いため線的にみえる。また、山地と谷の比高があるために、空中写真判読では見かけ上、一つの谷線自体の湾曲が大きくなる傾向がある。活断層の認定に関していえば、タイプAのみられる山地では新規の堆積地形の分布が少ないため、横ずれを示す谷や尾根の屈曲が活断層起源かどうかの判断がしにくい（認定時の判断基準となる谷や尾根に近接する新規地形面のずれがよく分からないので、屈曲が活断層に起源を持つ新しいものかどうか判断しにくい）。結局、横ずれの判読は比較的難しい。このようなことからタイプAは、横ずれ以外に活断層と認定できる量的特徴が見出しにくく、一般に活断層と認定されていないのが現状と考えられる。

2) タイプB：鞍部、谷線、崖地形が混合する線状模様

これはタイプAとCの中間の線状模様である。崖地形は三角末端面の場合が多い。また、崖地形の大きさと走向が不揃いとなる傾向がある。山地及び丘陵地に位置すること、横ずれが良く判読できる場合とできない場合のあることが特徴である。そのような背景から、タイプBはこれまで活断層とされたり、されなかったりしている。タイプBの位置より低地側に、後述のタイプCの線状模様が存在することが多い。

3) タイプC：主に崖地形による線状模様

このタイプは、段丘分布域にみられる。線状模様全体にあまり湾曲はなく、崖地形の高さが良くそろっている。タイプCは、堆積地形によって断続する地形境界線で構成される線状模様である。これまで活断層と認定されることが多かったものである。段丘や沖積低地に位置し、かつ横ずれが判読できる場合（離水した段丘地形がある場合）と、できない場合（形成中の扇状地などがある場合）があることより、相対的にみて活動歴が短く新しい線状模様であることを意味するものと思われる。

3.1.3 活断層起源の線状模様の認定の問題点

写真判読では線状模様の大まかな位置を判読する時点から主観が入り込みやすいために、今回は既存文献にある活断層およびその周辺について、対象とする活断層に共通する走向を示す線状模様を判読した。その結果、地形分布の特徴で地形量的には漸移関係にある既述の3タイプの線状模様を認識できることが分かった。このタイプ区分は、断層の全範囲のうちの特定範囲における結果なので、必ずしも十分なものとは言えない。しかし、特定の範囲に限れば断層の性質により、①線状模様の延長、②構成地形の個数、③地形境界線の延長、④地形の幅等に、量的な特徴が存在することを示している。したがって、①～④の量を用いて、より多くの活断層を対象に、写真判読の結果を総合して検討を進めることにより、これまで主観的な写真判読によって認定されてきた線状模様の、存在の有無、確実度、明瞭度、延長等の量的評価が行えると考えられる。

3.2 線状模様と断層露頭の位置の不一致要因の地形学的検討

3.2.1 1/1万空中写真による地形判読

2章のケーススタディの結果を踏まえ、1/1万空中写真による地形判読と現地観察から線状模様と断層位

置の不一致要因の地形学的検討を行った。

1/1万空中写真では1/4万空中写真に比べ地形情報が多くなるため、地形単位がそれぞれ大きく、かつ地形種が多様となり、各地形面の高度の違いが直接地形線の屈曲に結びつくことが多くなる。そのため、1/4万空中写真のように線状に見える地形境界線を追跡しにくくなる。このことは、1/4万空中写真の図式のままでは線状模様図の作成は難しいことを意味する。したがって、1/1万空中写真では1/4万空中写真の判読によって既に活断層起源の線状模様が認定された位置を中心として地形区分図を作成し、判読結果は実際の断層位置を推定していくための地形区分資料として扱うことが妥当と考えられる。

また、縮尺が大きくなるほど、ある地形面に対して複数の地形区分ができる傾向があり、判読時に混乱を生じ易い。そこで混乱を避け効率良く判読を進めるために、判読の容易な地形を優先的に区分する消去法的な地形区分を実施した。

断層露頭が良好な状態で確認された断層（水縄、石鎚、井口、下円井、小黑川）を例に試験的に判読を行い検討を行った。2章のケーススタディの場合よりもなるべく簡単に地形区分を行うために、次の系統的な地形区分を設定した。

①山地地形：尾根筋、谷筋、鞍部、分離丘陵

②崖地形：三角末端面、段丘崖、滑落崖

③二次堆積地形：平坦地、扇状地、すべり土塊、逆傾斜段丘、谷底平坦地

これらは、①、②、③の大枠が、1/4万空中写真での線状模様判読の「鞍部、谷筋、尾根筋、山地部」、「崖地形」、「堆積地形」にそれぞれほぼ対応するように区分している。また、地形の判読順序は山地部から始めると効率が良く概ね①、②、③の順が良いことも分かった。

以下に各地形の特徴を示す。

- 1) 谷筋：鍵状に曲がった谷の屈曲を認めることが多い。1/4万空中写真の判読結果にある線状模様をまたぐ方向性を持つ谷筋（最もホートン次数が高くなるもの）を認定する。空間分布範囲は①山地地形～②崖地形の間とし、③二次堆積地形分布域には認定しない。したがって、谷筋を線で図示する場合、その両側に後述の尾根筋の範囲を必ず認定することとなる。
- 2) 尾根筋：谷筋を認定した開析谷について、その流域を限る稜線を尾根筋として示す。
- 3) 鞍部：尾根筋の中に、あるいは分離丘陵と尾根筋の接地点に鞍部を認定する。鞍部の凡例は鞍部の両サイドを模式化し、頂点の向かい合う黒三角のセットとした。
- 4) 分離丘陵：断層によって独立したと考えられる地塊を、谷の屈曲の位置にあること、背後の尾根筋との境界が鞍部または堆積地形によって隔てられていること、河道屈曲の長さよりも長径が短いこと（長い場合：尾根筋や三角末端面で地形区分が可能のため）を条件に認定する。
- 5) 三角末端面：谷筋を取り巻く尾根筋に囲まれない範囲にある、滑落崖以外の急斜面を認定する。概ね三角形を呈する斜面地形で、1/4万空中写真判読結果の線状模様と平行する底辺を持つ地形面となる。
- 6) 段丘崖：段丘面の低位置にある他の平坦面との境界となる斜面で、概ね狭長な四角形を呈する。
- 7) 滑落崖：地すべりや土砂崩れのすべり面による急斜面で、後述のすべり土塊のあるものに限定する。
- 8) 平坦地：様々な時代の段丘面（地形営力の種類を問わない）と、沖積低地等の極緩傾斜する地形面。

- 9) 扇状地：平坦地よりも急傾斜の平坦な地形面で、扇型を呈する現世の地形面とする。河川営力の網状河川で特徴づけられる扇状地のほかに、沖積錐や崖錐などの扇型の地形面も含むこととする。
- 10) すべり土塊：背後に植生の乏しい急斜面である滑落崖を伴う土塊堆積域を判読する。段丘状の平坦地を呈していることが多い。また、谷を塞ぐことで上流側に池沼を形成することがある。
- 11) 逆傾斜段丘：大局的には順傾斜の平坦地分布域にあるが、この平坦地の傾斜が傾斜変換線をもってより緩傾斜となる、あるいは上流下がり逆傾斜を呈する平坦地とする。
- 12) 谷底平坦面：平坦地分布域にある狭長な形態をもつより新しい時代の下位平坦地とする。現在の浸食基準面と近い高度を持っているため、谷の屈曲と同義で用いることのできる谷底平坦面の屈曲を追跡することが可能である。

3.2.2 判読結果とその評価

3.2.1で示した地形判読方法を用いて、断層露頭の確認できた水縄断層、中央構造線の石鎚断層および井口断層、下円井断層、小黑川断層付近の地形区分図を作成した。地形区分図には断層露頭の位置を示している。

(1) 水縄断層

断層露頭（花村ほか²⁷⁾）は図-3.7の矢印の位置に確認された。その露頭スケッチを図-3.8に示す。そこでは、花崗岩と段丘礫層の境界にN40° W, 68° Nの断層が確認できた。したがって、断層位置を地形区分図と比較すれば、尾根筋及び谷筋の範囲中にあり、また最も近接する線状模様は三角末端面と平坦地の境界線であることが分かる。すなわち、ここで断層位置と線状模様は一致していない。

この不一致の要因について地質状況から解釈すれば、三角末端面の低位部でローム質礫層で記載される二次堆積物のため斜面形が変化し、線状模様がより平坦地側に移動したことが推定される。

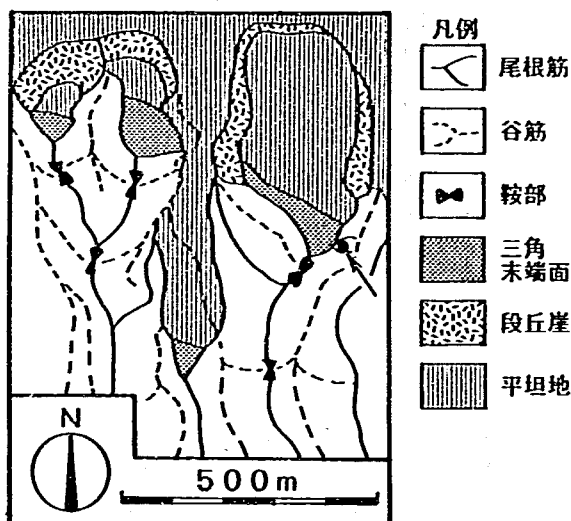


図-3.7 水縄断層付近の地形区分図
* 矢印→の先端が断層露頭位置を示す。

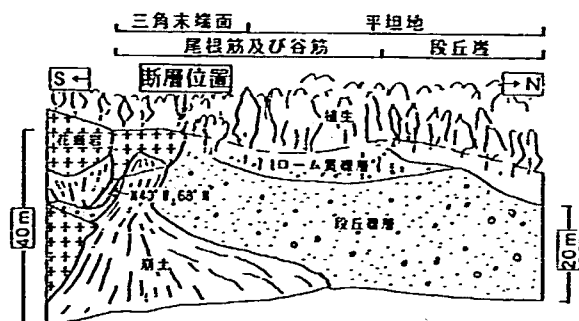


図-3.8 水縄断層の露頭スケッチ

(2) 石鎚断層

断層露頭(松田・岡田³²⁾)は、図-3.9の矢印の位置に確認された。その露頭スケッチを図-3.10に示す。そこではコンクリートにより三面張りされた放水路を境界に、三波川変成岩と泥岩質の和泉層群が確認できる。和泉層群にみられる断層破碎帯の幅は少なくとも25mある。断層は破碎帯の中で下流側にあるE-W, 88° SおよびN24° W, 82° E、さらに貫入岩のずれがみられるN20° W, 12° Wの3本が確認でき、いずれも断層粘土を挟む。

図-3.9によれば、断層露頭位置は平坦地の範囲にあり、谷筋の延長上に放水路(図-3.10参照)が存在する。松田・岡田³²⁾によれば、その位置に三波川変成岩と和泉層群の断層境界および断層破碎帯の記載があり、線状模様となる谷筋と実際の断層位置は一致する。しかし、西方にある三角末端面や段丘崖と扇状地との地形境界線のいずれが活断層起源の線状模様とみなせるのか、また両者の間(最大で100m程度)のどの位置に実際の断層が位置するのかの判断は難しい。それは、両者の地形境界線はいずれも、侵食や堆積の影響を受けた可能性があるほか、両者の間に堆積している扇状地堆積物の下には断層が埋没している可能性があるからである。また、一般的には「山地内の断層変位地形にともない、しばしば小地溝状凹地や樋状の鞍部が認められ、これが破碎帯の幅と関係があるのではないか」(熊木, 1997, 私信)と考えられている。したがって、地質情報も含めた地形発達史をまとめれば、谷壁が破碎帯の幅に規制されながら浸食されていく過程で、背後山地から供給される堆積物により埋積された結果、谷筋を型取る二本の明瞭な線状模様が形成されたものと解釈できる。

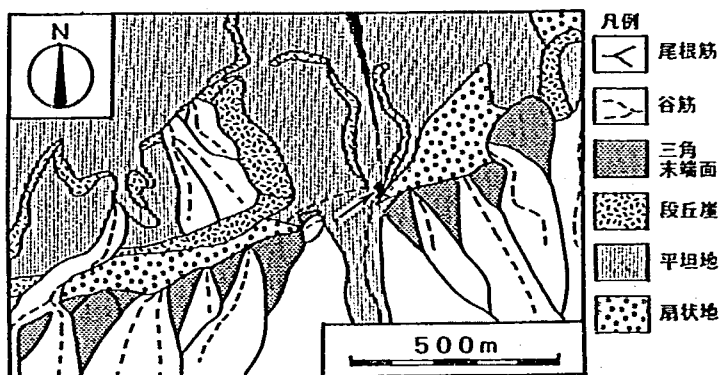


図-3.9 石鎚断層(中央構造線)付近の地形区分図
*矢印→の先端が断層露頭位置を示す。

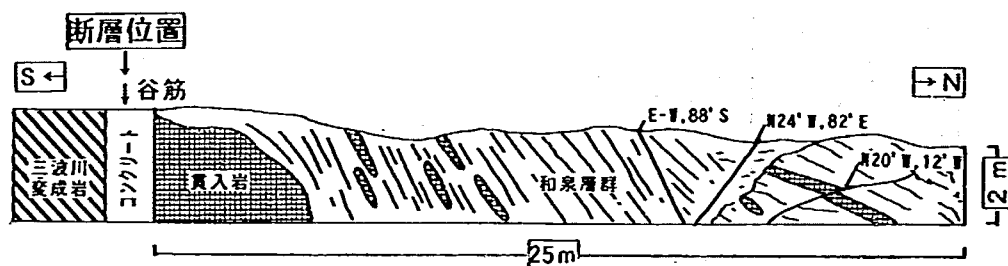


図-3.10 石鎚断層の露頭スケッチ

(3) 井口断層

断層露頭（横本ほか³³⁾）は図-3.11の矢印の位置に確認された。その露頭スケッチを図-3.12に示す。そこでは、第三紀の砂礫質の土柱層、泥層や礫岩からなる和泉層群が観察できる。横本ほか³³⁾によれば、和泉層群と土柱層は不整合で接するとされるが、植生のため不整合は確認できない。また、北の土柱層が破碎帯を境に南側の土柱層に断層関係で接している。断層面は観察した位置でN10° W, 42° Eである。破碎帯には和泉層群の黑色泥岩が取り込まれており、また上方へ行くにつれて低角度となり幅が広がる。

図-3.11によると断層露頭は分離丘陵の内部にあり、そこに線状模様となる地形境界線は全く認められない。その理由として、断層が地表に近づくにつれ低角のスラストになっていることや、活動後の浸食で平坦化され地形境界線が分からなくなったことが考えられる。したがって、約300m北にあるE-W走向の三角末端面、谷の屈曲、滑落崖の配列からなる線状模様位置が実際の断層位置と一致しない結果を生じている。この不一致の要因について地形・地質的に解釈すれば、井口断層の主断層は、観察した露頭の約300m北にE-W走向を持って存在し、また観察した露頭は主断層から分岐した副断層のものであることが推定される。

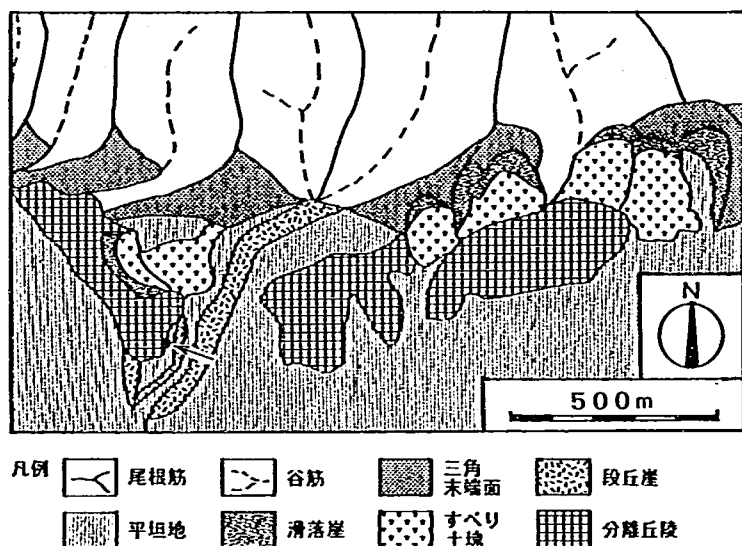


図-3.11 井口断層（中央構造線）付近の地形区分図
* 矢印→の先端が断層露頭位置を示す。

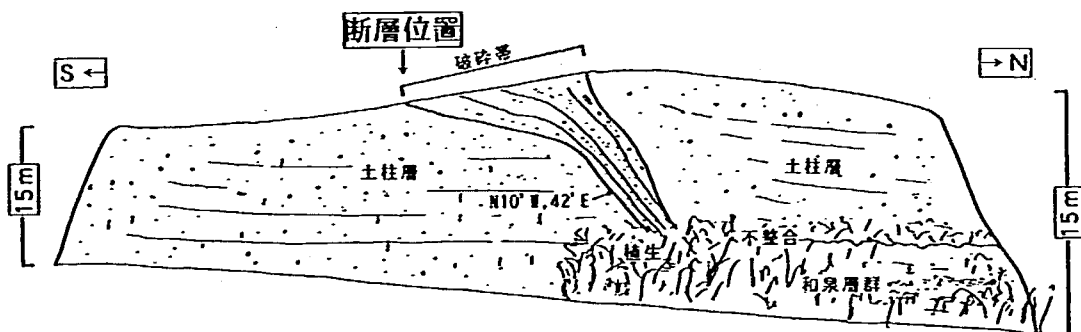


図-3.12 井口断層の露頭スケッチ

(4) 下円井断層

断層露頭（平川ほか³¹⁾）は図-3.13の矢印の位置に確認された。その露頭スケッチを図-3.14に示す。そこでは、花崗岩と段丘礫層の境界に $N40^{\circ}E, 20^{\circ}NW$ の断層が確認できた。図-3.13における断層露頭位置は三角末端面と平坦地との境界線上にあり、断層露頭位置と1/1万空中写真判読から抽出された線状模様は一致する。しかし隣接する2つの三角末端面の平野側へ凸型に張り出した底辺同士の接線を取り、その接線を線状模様として認定する場合、断層位置と線状模様とは100m程度のずれを生じることになる。このように地形境界線が直線でないことが、断層位置と線状模様の不一致要因となる。なお、この問題については次の項でも触れる。

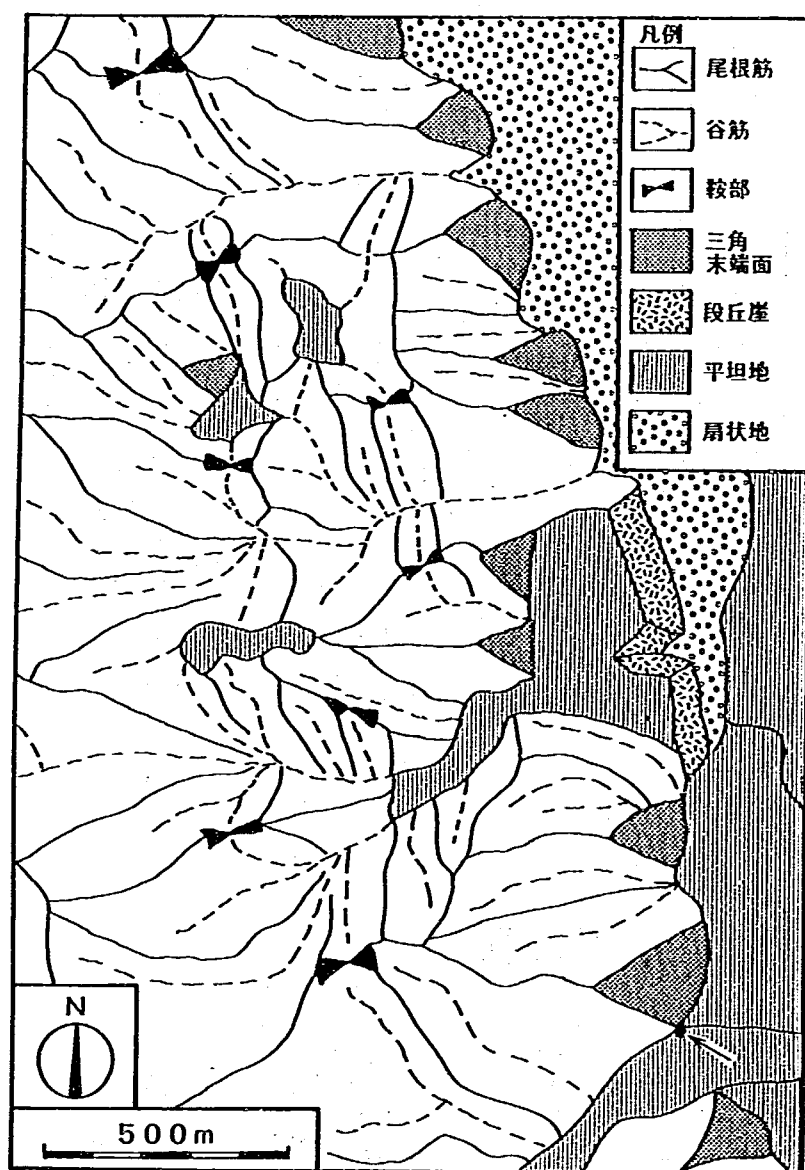
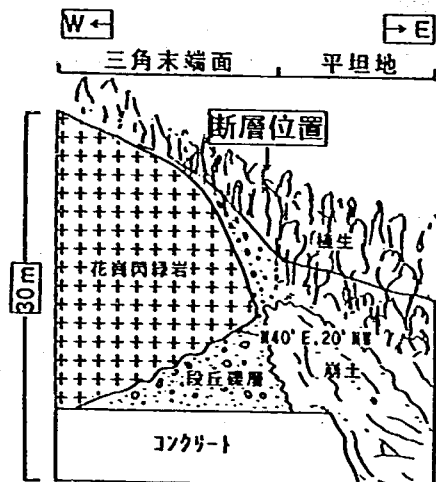


図-3.13 下円井断層付近の地形区分図

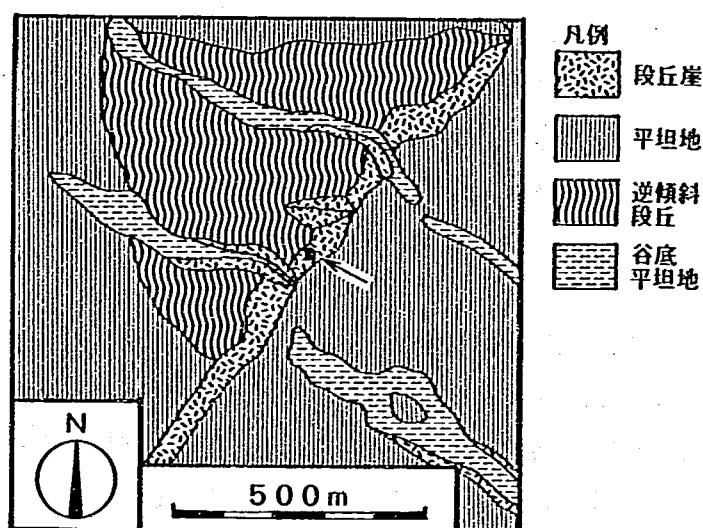
*矢印→の先端が断層露頭位置を示す。



図－3.14 下円井断層の露頭スケッチ

(5) 小黒川断層

断層露頭（松島³⁰⁾）は図－3.15の矢印の位置に確認された。そこでは段丘礫層を切る多数の断層がみられるとされるが、現地では被覆するテフラ以外にずれは確認できなかったため露頭スケッチは省略する。いずれにしろ、地形区分図において断層露頭位置は段丘崖の中にあり、断層位置と線状模様はほぼ一致する。ただし、断層位置と段丘崖の底辺位置との距離数10mを断層と線状模様の位置のずれとみなせば、ずれの要因は水縄断層で観察できた斜面形成による線状模様の移動で説明可能である。



図－3.15 小黒川断層付近の地形区分図
* 矢印→の先端が断層露頭位置を示す。

3.2.3 線状模様と断層位置の不一致要因

これまでの検討結果から線状模様と断層の位置の不一致の要因は、以下の4点にまとめられる(図-3.16)。

1) 崖地形の地形変化

崖地形の下部における斜面従順化により、線状模様が下流方向に移動するもので、水縄断層および石鎚断層で確認された。このような斜面変化量については、平野³⁵⁾に実測された報告が見られる。したがって、断層位置は崖地形の底辺の上流方向にある。

逆に、後氷期開析前線(羽田野³⁶⁾)の発達する山地等の浸食域では、逆に上流側へ移動する可能性も否定できないが、そのようなずれの事例は確認できなかった。

2) 破砕帯の幅

破砕帯幅が広いことにより、断層の走向を持つ相対する崖地形が山地側および平野側に発達し、線状模様が二つに分かれるもので、石鎚断層で確認された。したがって、断層位置は2つの線状模様のいずれか、またはその間にある。石鎚断層では堅い岩に近い方に断層が存在した。

3) 並行する他の断層の存在

地表付近における断層の分岐により、主断層の前面に副断層が発達し複数の線状模様が発達する場合で、井口断層で確認された。これは、サンフェルナンド断層の形成について、逆断層の地表近くでの分岐と低角化を述べたモデル(池田・米倉³⁷⁾)に共通する現象と考えると理解できる。

井口断層では、副断層のものと思われる断層露頭が観察された。副断層による線状模様が不明瞭であるため、副断層の露頭位置を主断層と認定すると、断層位置は主断層による線状模様位置よりも平野側にずれる。仮に、副断層による線状模様が明瞭ならば、石鎚断層に対する畑野断層のように別の断層名が付され、その場合、線状模様と断層位置は近くなることも考えられる。このようにみると、その他の断層でも同様の理由で線状模様と断層位置の不一致が生じる可能性がある。

例えば下円井断層では、断層露頭の記載された三角末端面による線状模様(図-3.4の②)から西約500mに、鞍部、谷筋、平坦地で構成される横ずれの明瞭な線状模様(図-3.4の①)が存在する。また水縄断層では、断層露頭の記載された尾根のずれが見られる線状模様は、図-3.1の①と②の間にあるが、花村ほか²⁷⁾の益生田断層①とは数100m離れていることとなる。

したがって、実際の断層位置と線状模様位置との関係は、それぞれが主断層、副断層のいずれによるものかわかれば的確に把握できる。

4) 地形境界の屈曲・湾曲

この要因によるずれは、下円井断層で確認された。底辺が屈曲・湾曲する崖地形が続く場合、各地形面の底辺にある凸部あるいは凹部同士を結ぶ接線を線状模様と認定すると、断層位置と線状模様が一致しない。このような地形境界線の屈曲・湾曲は、より低角な断層になるほど生じると考えられており、写真判読時において注意を要する。ただし、より小縮尺の空中写真を用いると、このような位置のずれは図化の精度の中に収まってしまう。具体的には、写真上での位置のずれが筆記具の線の太さ以下になる。したがって、以上のような注意を要するのは、よりスケールが大きい空中写真を用いる場合である。すなわち、この問題は図化時に使用する空中写真のスケールと関係していると考えられる。

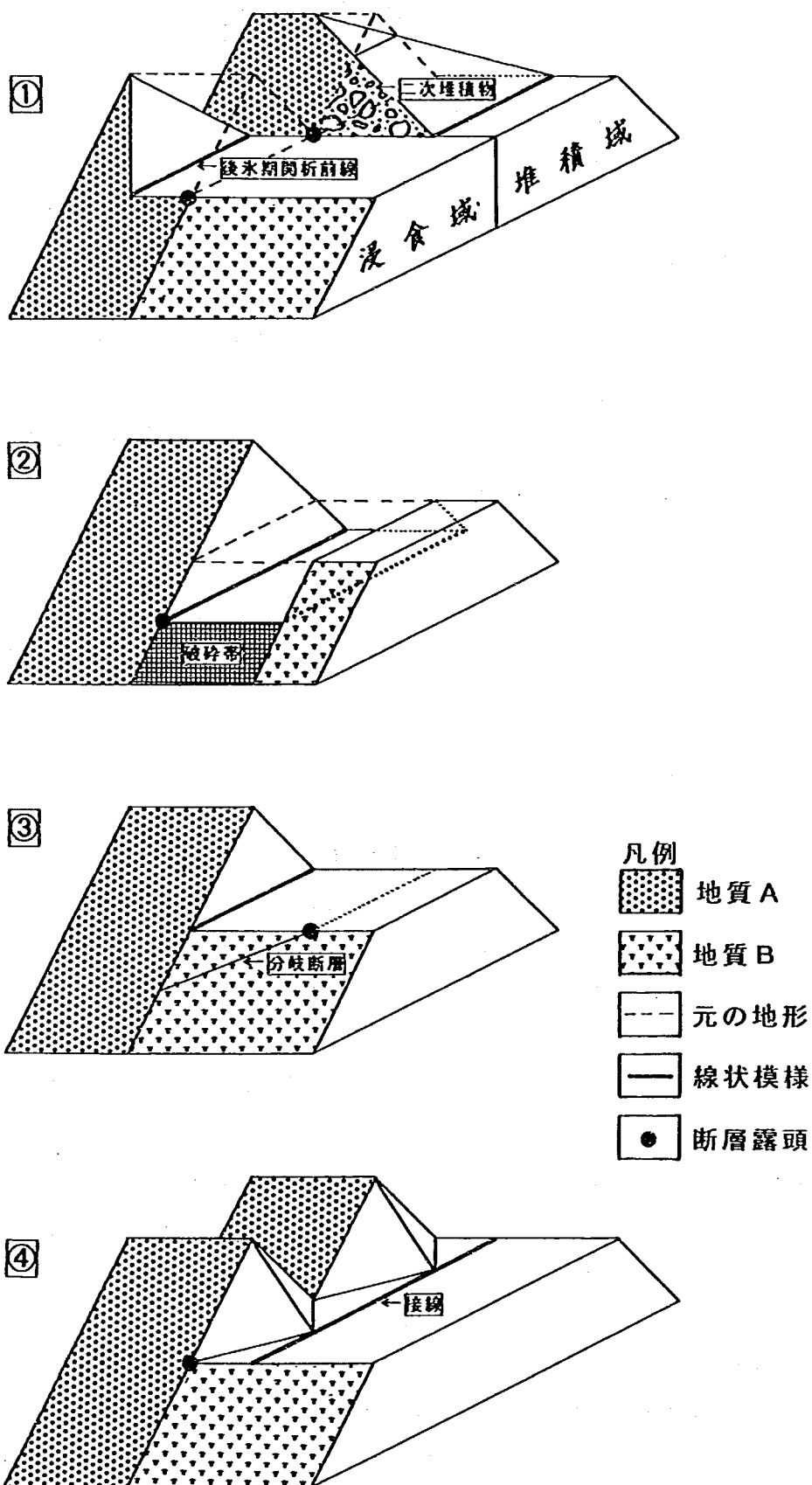


図-3.16 線状模様と断層位置の不一致の要因

①：地形変化、②：破碎帯の存在、③：分岐断層の存在、④：図化時の接線近似。

4. まとめと今後の課題

4.1 客観性と高精度化の観点からの線状模様の判読方法

4.1.1 空中写真判読による客観的な線状模様抽出法とその問題

北武断層を事例に、1/4万空中写真判読による活断層起源の線状模様の客観的な認定方法を検討した。その結果、集水域を示す流域界に着目すると、鞍部と地形境界線から構成される線状模様を連続性の良い線状模様としてより客観的に認定できることが分かった。次に連続性の良い線状模様に沿って断層変位地形などに着目した地形区分を行い、線状模様と地形区分結果を対比することにより、活断層の可能性の高い線状模様を客観的かつ確実に認定できることが分かった。

北武断層では、1/1万空中写真を用いた面的な地形区分も行い、線状模様と断層位置の不一致の要因の検討を地形・地質学的に行った。その結果、判読者の相違以外に、写真スケールの違いによる地形の見え方の変化と、断層の地質構造の相違が線状模様と実際の断層位置の不一致要因としてあげられることが分かった。

双葉断層を事例に、1/4万および1/1万空中写真を用いて、線状模様の認定に及ぼす写真スケールの影響を検討した。その結果、地形区分の精度に係わる写真スケールの相違が、線状模様の判読（特に線状模様の数）に影響することが分かった。さらに、大スケールの写真により多数判読される線状模様から、地形的解釈により活断層起源の線状模様を客観的に認定できることが分かった。

4.1.2 線状模様構成地形と断層位置に関する検討

1/4万空中写真を用いて、活断層に関わる線状模様の地形分布の特徴を検討した。その結果、線状模様は主に鞍部と谷線からなる線状模様（タイプA）、鞍部、谷線、崖地形が混合する線状模様（タイプB）、主に崖地形による線状模様（タイプC）の3タイプに分けられることが分かった。また、山側にはタイプA、より低地側に行くにつれタイプB、Cが出現する。これら各タイプの構成地形の地形量は漸移関係にある。また、特定のタイプに断層変位地形が見出されるわけではなく、また特定のタイプが必ずしも活断層と認定されているわけではないことが分かった。

1/1万空中写真を用いて、線状模様と断層位置の不一致の要因の検討を地形的、地質学的に行った。その結果、線状模様と断層位置の不一致の要因には、1) 浸食や堆積による崖地形の地形変化、2) 破碎帯の幅、3) 並行する他の断層の存在、4) 地形境界の屈曲・湾曲の4つがあることが分かった。

4.2 今後の課題

平成8、9年度は、空中写真判読および現地調査から線状模様と断層との位置関係、活断層の存在の有無等の認定法の検討を行った。その結果、線状模様を構成する地形境界線（2つの地形の境を地形境界線とみる）を構成する地形を明らかにして、線状模様の判読結果を示すことが、より客観的に活断層起源の線状模様を認定するためには重要であることが分かった。しかし、その線状模様が確実に活断層であるかどうかの判断を行う地形量的、数値的な基準を見出すことや、線状模様の判読結果から活断層の活動性を評価するこ

とまでは検討が及ばなかった。

なお、平成8、9年度は、線状模様の判読結果と現地露頭観察、また多数の文献データを加味し、断層の存在範囲、破碎帯幅、粘土幅等の断層構造の推定方法について定量的な検討を進めた。その検討結果は別途報告する予定である。

謝 辞

本資料をまとめるに当たり、多くの地方自治体から地形図の提供を受けた。また、サンコーコンサルタント株式会社の松崎達二氏（平成8年度交流研究員）ならびに森 信博氏（平成9年度交流研究員）には、特に断層の露頭調査でご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 土岐憲三、後藤洋三、江尻譲嗣、澤田純男：兵庫県南部地震の震源特性と地盤震動特性、土木学会誌、1995年9月号, pp.32-43, 1995.
- 2) 佐藤忠信：震度7の帯内における最大地動の推定, 土と基礎, 第44巻, 第2号, pp.35-37, 1996.
- 3) 遠座 昭、飯沼 清、吉田智治：兵庫県南部地震による六甲山地東南縁部における地震被害と地形・地盤条件, 応用地質, 第36巻, 第1号, pp.81-87, 1995.
- 4) 皆川 潤、大槻憲四郎、日吉 直、松井和夫、青野正夫：野島地震断層と構造物被害について, 日本応用地質学会「阪神大震災」中間報告会—人工改変と地震災害—, pp.22-37, 1995, 5月.
- 5) 松田時彦、太田陽子、岡田篤正、清水文健、東郷正美：空中写真による活断層の認定と实例, 地震研究所彙報, 第52巻, pp.461-496, 1977.
- 6) 山口 靖、長谷敏和：多様な画像によるリニアメント頻度の解析—レーダー画像の屋久島地域への適用例について—, 写真測量とリモートセンシング, 第22巻, pp.4-13, 1983.
- 7) 松崎達二、黒木貴一、品川俊介、脇坂安彦：第四紀断層の地形的特徴と地質的特徴との比較, 日本応用地質学会平成9年度研究発表会講演論文集, pp.57-60, 1997.
- 8) 活断層研究会：新編日本の活断層, 東京大学出版会, 437p, 1991.
- 9) 松山紀香、岡田篤正：空中写真判読による六甲山地南麓部の活断層詳細図—試作例—, 活断層研究, 第9巻, pp.69-92, 1991.
- 10) 丹羽雄輔、山口 靖、小川克郎：SAR画像判読による中部地域のリニアメントと活断層の比較, 日本リモートセンシング学会誌, 第17巻, 第2号, pp.144-159, 1997.
- 11) 池田安隆、島崎邦彦、山崎晴雄：活断層とは何か, 東京大学出版会, 220p, 1996.
- 12) Lattman, L.H.: Technique of mapping geologic fracture traces and lineaments on aerial photographs, Photogram. Eng., Vol.24, pp.568-576, 1958.
- 13) 地質調査所：1:200,000地質図, 横須賀, 1980.
- 14) 鈴木尉元、小玉喜三郎、三梨 昂、岡 重文、卜部厚志、遠藤 毅、堀口満吉、江藤哲人、菊池隆男、山内靖喜、中嶋輝允、徳橋秀一、楡井 久、原 雄、中山俊雄、奈須紀幸、加賀美英雄、木村政昭、本座栄一：特殊地質図20, 東京湾とその周辺地域の地質, 第2版, 109p, 地質調査所, 1995.
- 15) 太田陽子、山下由紀子：三浦半島の活断層詳細図の試作, 活断層研究, 第10巻, pp.9-26, 1992.
- 16) 佐藤比呂志、蟹江康光、東郷正美、渡辺満久、小松原琢、隈元崇、八木浩司、馬 勝利、太田陽子、中村俊夫、梅沢俊一：横須賀市野比地区における北武断層のトレンチ調査, 活断層研究, 第16号, pp.13-18, 1997.
- 17) Kaneko, S. : Right-lateral faulting in Miura Peninsula, South of Tokyo, Japan. Journal of Geological Society of Japan, Vol.75, No.4, pp.199-208, 1969.
- 18) 太田陽子、松田時彦、池田安隆、D.N.Williams、渡辺憲司、小池敏夫、見上敬三：三浦半島および国府津・松田地域の活断層に関する調査報告書, 神奈川県地震災害対策資料, 195p, 神奈川県, 1982.

- 19) 柳沢幸夫、山元孝広、坂野靖行、田沢純一、吉岡敏和、久保和也、滝沢文教：相馬中村地域の地質，144p，地質調査所，1996.
- 20) 久保和也、柳沢幸夫、吉岡敏和、山元孝広、滝沢文教：原町及び大甕地域の地質，155p，地質調査所，1990.
- 21) 久保和也、柳沢幸夫、吉岡敏和、高橋 浩：浪江及び磐城富岡地域の地質，104p，地質調査所，1994.
- 22) 渡辺岩井、牛来正夫、黒田吉益、大野勝次、砥川隆二：阿武隈高原の火成活動－阿武隈高原の地質学的岩石学的研究（その9）－，地球科学，第24巻，pp1-11，1955.
- 23) 鈴木毅彦・小荒井衛：福島県相馬郡鹿島町における双葉断層（大谷断層）の断層露頭と最近の活動に関する一考察，活断層研究，第6号，pp23-29，1989.
- 24) 田村俊和：谷頭部の微地形構成，東北地理，第26巻，pp189-199，1974.
- 25) 地質調査所：1:200,000地質図，静岡・御前崎，1976.
- 26) 角 清愛：5 万分の1 地質図幅説明書「神子元島」，33p，地質調査所，1958.
- 27) 花村 修、松岡 稔、小泉友美：水縄（耳納）断層系，九州地方活断層研究，第1号，pp27-50，1996.
- 28) 水野清秀、岡田篤正、寒川 旭、清水文健：中央構造線活断層系（四国地域）ストリップマップ，地質調査所，1993.
- 29) 浅川一郎、平川一臣：巨摩山地北部東縁の活断層，活断層研究，第2号，pp33-42，1986.
- 30) 松島信幸：伊那谷の造地形史－伊那谷の活断層と第四紀地質－，飯田市美術博物館調査報告書，第3号，飯田市美術博物館，145p. 1995.
- 31) 佃 栄吉、栗田泰夫、山崎晴雄、杉山雄一、下川浩一、水野清秀：阿寺断層系ストリップマップ，地質調査所，1993.
- 32) 松田時彦、岡田篤正：断層破碎帯の破碎度階級－野外観察による分類試案－，MTL，第2号，pp117-125，1977.
- 33) 槇本五郎、中川 典、中野光男：徳島県美馬郡脇町でみられる“中央構造線”，地質学雑誌，第74号，479～484（1968）.
- 34) 平川一臣、神沢公男、浅川一郎：巨摩山地北東縁・下円井の活断層露頭，活断層研究，第6号，pp43-46，1989.
- 35) 平野昌繁：断層崖の地形計測とその結果の解釈－六甲山地を例として－，地球科学，第21巻，第3号，pp11-20，1967.
- 36) 羽田野誠一：山地の地形分類の考え方と可能性，東北地理，第38巻，pp87-89，1986.
- 37) 池田安隆、米倉伸之：San Fernando地震の断層モデル－断層面の折れまがりとその地学的意味－，地震，第2輯，第32巻，pp477-488，1979.