リニアメント抽出過程におけるサイズ分布の変化*

Size distribution in the process of Lineament extraction.

土田 聡**, 山口 靖***
長谷 紘和***Satoshi TSUCHIDA, Yasushi YAMAGUCHI
Hirokazu HASE

Abstract: Lineament analysis, made through the observation of remote sensing data, is encountered various bias effects. In this paper, the bias effects are analyzed firstly by grouping the process of lineament extraction into three stages, that is; ground based effects (A-factor), image based effects (B-factor), and human effects (C-factor). These effects change the size distribution of lineaments. The distribution of the extracted lineaments can be formulated in the following equation.

$$n_4(L) \doteq c' \times L^{-(D+1)} \times \int_{l_{\min}}^L \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma l} \times \exp\left[-\frac{(\log l - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dl$$

where $n_4(L)$ is the frequency of extracted lineaments with length L . l is the recognizable length of a lineament whose actual length is L . D is the fractal dimension. c' , σ and μ are constants.

1. はじめに

画像データから認識抽出されるリニアメントは、地殻中の断裂の反映であるとみなされている。リニアメントのサイズ分布は断裂の規模別頻度分布と類似しており、リニアメントが断裂に由来することの証拠の一つとされている^{3),4)}。しかし、地殻中に発達する断裂から画像上で認識抽出されるリニアメントに至るまでには、断裂の地形への表現・地形の画像化・画像からのリニアメントの認識などといった多くの過程が含まれている。

リニアメントのサイズ分布を細部にわたって再検討した結果、断裂の規模別頻度分布との差異が見いだされた。本研究においては、断裂からリニアメントに至るまでの過程において、その累積サイズ分布およびサイズ分布（本論文においては、サイズ分布・累積サイズ分布を次のように使い分ける。サイズ分布は、横軸に

長さ、縦軸にその長さの頻度を表わす。累積サイズ分布は、横軸は同じく長さ、そして縦軸にはその長さよりも長いリニアメントの総数を表わす）の特徴について述べその変化を理論的に考察する。これらの考察を行なうことによって、統計解析によるリニアメントの定量的評価の可能性を広げられることが期待される。

2. 方法

2.1 リニアメントの定義

リニアメントという用語は、Hobbsによる提唱⁵⁾以来、広く用いられてきてはいるが、その定義については、各人の考え方の違いが大きく、かなりの混乱を招いている。類似用語（例えば、linear, lineation など）が氾濫し、新しい拡大解釈が頻繁になされ、ランドサットリニアメントやレーダリニアメントなどという表現も混乱の一因となっている。しかし、O'Learyらによる用語の再定義⁶⁾がなされてからは、リニアメントを「地殻の構造を反映すると考えられる面的広がりをする線状の地形特徴」とする定義が広く受け入れられるようになった。Glossary of Geology の第三版⁷⁾においても、基本的にこの定義を用いているため、本論文も、これに従うこととする。

* 日本写真測量学会昭和62年度秋季講演会¹⁾および ISPRS KYOTO' 88²⁾にて一部を発表。

** 早稲田大学理工学研究科

*** 工業技術院地質調査所

「写真測量とリモートセンシング」Vol. 28, No. 2, 1989

表 1 使用画像

画 像	縮 尺	撮影年月日	撮像高度	解像度	対象波長	備 考
空中写真	1 : 20,000	1967.10.1	5000m	2-3m	可視域	白黒プリント 実体視観察
レーダ画像	1 : 200,000	1981.8	11500m	12m	9.6GHz	W-look, マイクロ波 X バンド
ランドサット画像	1 : 500,000	1980.7.19	918km	80m	可視域 近赤外域	フォールスカラー MSS 4,5,7バンド

2.2 使用画像

リニアメントの判読・抽出には、縮尺 2 万分の 1 の空中写真（日本林業技術協会が販売しているもの）・20 万分の 1 の合成開口レーダ画像（新エネルギー総合開発機構が取得・販売中のもの⁸⁾）および 50 万分の 1 ランドサット画像（同前）を使用した。各画像の詳細については表 1 に示す。なお、ランドサット画像にはエッジ強調処理（ラプラシアン変換）が施されている。

2.3 抽出方法

リニアメントは、空中写真・レーダ画像およびランドサット画像から肉眼判読により抽出した。抽出は、著者のうちの一人（土田）が行なった。一本のリニアメントに注目して厳密な調査を行なう場合には、客観性という点からは複数の研究者によって抽出・比較検討する方法が好ましい。しかし、リニアメントの抽出過程を統計的に検討しようとする場合においては、むしろ、一個人がそれぞれの基準を持って抽出した結果に基づいて議論すべきであり、必ずしも複数の判読者を必要としない。レーダ画像およびランドサット画像では、一枚のシートで解析対象地域をカバーできたが、空中写真では数 10 枚が必要であった。よって、空中写真におけるリニアメント抽出に当たっては各写真の撮影条件・現像・焼付条件などの違いにより、写真ごとに判断結果の差異を生じる危険性がある。しかし、これらの条件による影響は、今回は無視できるものと仮定した。一方、判読過程においても、写真の枚数が多くなると判読者に由来する判読結果の差異が生ずる。例えば、判読時間が写真ごとに違う場合には、時間を長くかければ、より多くのリニアメントが抽出されることになり、複数の写真にわたって統計解析をする際には問題となる。この危険性を小さくするために一枚における抽出の所用時間を 10 分間に設定し、一時期に

同一条件下で抽出を行なった。

さらに、比較的短い（2 km 以下）線状模様も機械的にリニアメントとして抽出した。これは、調査地域が断裂の多い造山地帯に位置するために、比較的短い地形的な線状模様も断裂の反映である可能性が高いと考えられるためである。第 1 図は、長さ約 1 km のリニアメント（地質図上に断層としては現れていない）に注目し、断裂とリニアメントの関係について調査結果を示したものである。この場合、断裂とは、それに沿って（平行に）地層の変位を認められる断層ではなく、開口性の割れ目や、明瞭には変位の認められない微小な割れ目のことを指す。リニアメントの位置に近づくにつれて断裂の密度は増加していくことがわかる。このように、本地域においては、比較的規模の小さなリニアメントも断裂の現れである可能性が大きいとみなされる。なお、リニアメントは必ずしも完全な直線ではないが、累積サイズ分布・サイズ分布などについてのコンピューター処理のため、直線に近似してデジタル化した。

2.4 解析対象地域

解析対称範囲は、北海道中西部大夕張地域に位置し、総面積は約 200km² である（第 2 図）。本地域内ではシューパロ川およびその支流の沢が樹枝状または格子状の水系パターンを示している。地質的には白亜系の地層が広く分布し、その一般走向は N-S から NNE-SSW 方向で、傾斜は東に 60~90 度ほどである。これらの地層は、逆転単斜構造をなし、東より下部蝦夷層群・中部蝦夷層群・上部蝦夷層群・函淵層群の順に分布する。白亜系の東側には空知層群・変成岩類・蛇紋岩が分布し、白亜系との境界は NNE-SSW 系と WNW-ESE 系の断層からなっている。白亜系の西側には第三系が分布する。

第1図 リニアメントと直交する測線に沿った断裂密度(北海道大夕張地域北部)。
0 m は、測線とリニアメントの交差位置。図中の各点線は、左上のローズダイアグラムに示す方向範囲の断裂のみを対象にした断裂密度。

第2図 解析対象地域および白亜系分布地域

3. リニアメント出現モデル (リニアメントの理論的サイズ分布)

3.1 リニアメントの出現とその頻度

リニアメントの抽出過程における様々な影響をまとめると、第3図に示したようになる。地表の断裂から

リニアメントに至るまでの抽出過程を3段階であると考える。各段階の間の4つの集団は、各々、断裂系(第1集団)、地表面上のリニアメント(第2集団)、画像上のリニアメント(第3集団)および認識抽出されるリニアメント(第4集団)である。ここで3つの抽出過程における影響を各々、グランドベースエフェクト(A-factor)、イメージベースエフェクト(B-factor)

第3図 断層系の集団から認識抽出されるリニアメントの集団に至る過程。

* リニアメントの定義は、現在「地殻構造を反映すると思われる画的広がり有する線条の地形特徴」^{7),9)}となっている。よって画像上に表現されている線条模様は、たとえ断層をあらわしていても地形的(topographic)に表現されていなければ、リニアメントと記載することはできない。

およびヒューマンエフェクト (C-factor) と呼ぶことにする。

以下、これら4つの集団におけるリニアメントの累積サイズ分布・サイズ分布の違いについて述べる。

3.2 断層系 (第1集団)

第1集団の累積サイズ分布については、実験的・経験的なデータにより知られている。この第1集団における理想的な規模別頻度分布 (累積サイズ分布) は第4図(a)のように表される。物質の破壊過程において、その累積サイズ分布におけるフラクタル次元 D (自己相似的なランダムな形や現象を定量的に表すための最も基本的な量。ここでは、フラクタル次元の概念を拡張^{10),11)}して用いている。よって、本論においては、第4図のように累積サイズ分布を両対数グラフ上で表した場合のその傾きの大きさを指すことになる) は、ほぼ2になることが報告されている。例えば、岩石の破片の大きさの分布^{12),13),14)}、クレータの直径分布¹⁵⁾、流水の大きさ分布¹⁶⁾、地震の規模分布^{17),18),19)}および岩盤中の割れ目の分布²⁰⁾などにおいて、「大きさ」を指標と

第4図 第1集団(a)、第2集団(b)及び第4集団(c)の累積サイズ分布

した場合のフラクタル次元はすべて2に近い値を示す。

割れ目については、露頭上の割れ目だけに注目した場合、 D は2よりも小さな値 (1.6~1.8が多い) を示すが、「大きさ」の測定対象範囲をより広範囲なレベル (地質図レベル) まで広げた場合には $D \approx 2$ となる²⁰⁾。

また、地震学においては、Gutenberg-Richterの式²¹⁾から以下のように地震断層の長さと同頻度との関係を求めている^{17),18),19)}。

地震のマグニチュードを M 、頻度を $n_1(M)$ 、累積頻度を $N_1(M)$ と置けば、Gutenberg-Richterの式が経験的に成り立つ。

$$\log N_1(M) = a - bM \quad (1)$$

$$\log n_1(M) = a' - bM \quad (1')$$

ただし、 a 、 a' 、 b は定数で、 $n_1(M) = -N_1(M)/dM$ である。つまり、 $n_1(M)$ がマグニチュード M の地震のサイズ分布、 $N_1(M)$ がその累積サイズ分布である。 M は、エネルギー E に換算すれば、

$$M \propto 2/3 \times \log E \quad (2)$$

であり、(1)・(1')と(2)より、エネルギー E と頻度の関係は

$$\log N_1(E) = \text{定数} - k \times \log E \quad (3a)$$

$$\log n_1(E) = \text{定数} - (k+1) \times \log E \quad (3a')$$

または、

$$N_1(E) = \text{定数} \times E^{-k} \quad (3b)$$

$$n_1(E) = \text{定数} \times E^{-(k+1)} \quad (3b')$$

ここで、 $k = b/1.5$ である。エネルギー E は3次元の物理量なので、1次元の物理量である長さ L で表せば、

$$\log N_1(L) = \text{定数} - 3k \times \log L \quad (4a)$$

$$\log n_1(L) = \text{定数} - (3k+1) \times \log L \quad (4a')$$

または、

$$N_1(L) = \text{定数} \times L^{-3k} \quad (4b)$$

$$n_1(L) = \text{定数} \times L^{-(3b+1)} \quad (4b')$$

となる。 b 値は、経験的にほぼ 1 もしくは 1 よりもやや小さい値を示すことが知られている。ここでは、 $b \approx 1$ とすると (4b) および (4b') は、

$$N_1(L) = \text{定数} \times L^{-2} \quad (5)$$

$$n_1(L) = \text{定数} \times L^{-3} \quad (5')$$

となる。

これらのことより、断層の累積サイズ分布およびサイズ分布は両対数グラフにおいて右下がりの直線 ($D \approx 2$) として表される。

$$N_1(L) = C \times L^{-D} \quad (6)$$

$$n_1(L) = c \times L^{-(D+1)} \quad (6')$$

(C, c : 定数)

3.3 地表面上のリニアメント (第 2 集団)

第 6 図は、空中写真、合成開口レーダ画像およびランドサット画像から得られたそれぞれの累積サイズ分布 (第 5 図 a~c) を 1 つのグラフ上にまとめたものである。第 6 図の分布の包絡線をとった場合、その直線状分布を示す部分は、画像ごとの差異を取り除いたものであり、第 2 集団の分布に近似できると推定される。これは、異なるスケールでの解析結果を重合すれば、適した範囲を相補し合うことにより、広い範囲の頻度分布を得られるという考え^{4),20)}によっている。

この直線状分布を示す部分を直線で近似した場合の傾き D は 2 より小さく、第 6 図においては、ほぼ 1.7~2.0 の間に値を示す。

$$N_2(L) = C' \times L^{-D} \quad (7)$$

$$n_2(L) = c' \times L^{-(D+1)} \quad (7')$$

(C', c' : 定数)

第 6 図 空中写真、合成開口レーダ画像(SAR)及びランドサット画像の累積サイズ分布およびこの 3 つの図より推定された第 2 集団(*)の累積サイズ分布。

* 第 4 図(b)と同じ

第 5 図 北海道大夕張地域の各画像における累積サイズ分布

しかし、第 6 図の分布は厳密に考えると直線状分布ではなくやや上に凸の曲線分布となっている。第 1 集団において直線分布を示していたものが、第 2 集団においては上に凸の曲線を示すことは注目に値する。この曲線の傾きから得られるフラクタル次元は、長さが長い側では 2 に近く、短い側では 1.6~1.8 となっている。短い側のフラクタル次元が、本来の次元数である 2 よりも低くなっているのは、短い断層ほど地表面上のリニアメントとして現れにくいことを意味している。

3.4 画像上のリニアメント (第3集団)

第3集団の累積サイズ分布を求めることは困難である。例えば、画像処理により、自動的に抽出された線状模様は、第3集団に近いものと考えてもよい。しかし、現時点においては、線状模様の自動抽出法そのものについて議論がされている段階であり、この論文での議論に用いることのできるような信頼に足る第3集団のリニアメントを提示できるとは言いがたい。

3.5 認識抽出されるリニアメント (第4集団)

長さ L の画像上のリニアメントが認識抽出される確率 $Q(L)$ は、リニアメントの長さ L によって変化する。人間の眼によって得られる情報は、ある一定の長さまでは急激に増えるが、それ以降は緩やかな増加を示すものと考えられる。したがって、 $Q(L)$ は長さの増加により単調に増加するが、その増加率 dQ/dL はある長さまでは増大し、それを越えると逆に減少する。実際のデータの検討結果によれば、このような性格を持つ確率 $Q(L)$ は、累積対数正規分布により最もよく近似できることが経験的に知られている (第7図、第8図)。では、なぜ $Q(L)$ が累積対数正規分布で近似で

きるかについて考察してみよう。

第3集団の長さ L のリニアメントが第4集団のリニアメントして抽出されるか否かは、明瞭な地形的特徴を有する要素部分に基づいて判断されている (第9図)。こうした部分を要素 li (セグメント: $\sum li = l \leq L$) と呼ぶことにする。長さ L のリニアメントのうち、前記の要素 li 以外の部分は、抽出するか否かを決定するための判断基準となっていない部分である。ここで、判断基準となった部分の長さの総計を $l(\sum li)$ とする。第3集団の長さ L の1本のリニアメントが長さ l の情報によって画像から抽出される確率分布は、 l の関数とみなすことができ、 $P(l)$ で表される。

$$\int_{l_{\min}}^{\infty} P(l) dl = 1 \tag{8}$$

$P(l)$ は、いくつかの独立した確率的事象 (この場合は様々な断層地形の画像上での表現) に分解できる。例えば、 $p1$: ケルンバット・コルンがある。 $p2$: 三角末端面がある、 $p3$: 地すべりがある、……などである。これらの事象が独立ならば、 $P(l)$ は乗法の公式に従い、各々の事象の存在確率の積として表すことができ

$$P(l) = P(p1) \times P(p2) \times P(p3) \times \cdots \tag{9}$$

第7図 北海道大タ張地域の空中写真のサイズ分布とその理論分布

第8図 北海道大タ張地域の空中写真の累積サイズ分布とその理論分布

第9図 L , li 及び l の関係
点線部は、抽出するか否かを決定するための判断基準となっていない部分である。

となる。さらに、(8)式の両辺の対数をとると、

$$\log P(l) = \log P(p1) + \log P(2) + \log P(p3) \dots \dots \quad (10)$$

となる。各 $P(pi)$ が独立で有限な値をとると考えられるので、中央極限定理によって右辺はガウス分布に漸近し、従って確率 $P(l)$ の分布は対数正規分布をなすであろう¹¹⁾。

$$P(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma l} \times \exp\left[-\frac{(\log l - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (11)$$

(μ , σ : 定数)

長さ L の画像上のリニアメント (第3集団) が第4集団のリニアメントとして認識抽出される確率 $Q(L)$ は、 l の最小値から L までの $P(l)$ を積分することによって求められる。なぜならば、長さ L のリニアメント (第3集団) が多数存在し、それぞれが様々な長さの l ($l_{\min} \sim L$) によってリニアメント (第4集団) として判断され抽出されるとすれば、 l がとり得る値の区間について $P(l)$ の総和をとればよいからである。よって、

$$Q(L) = \int_{l_{\min}}^L P(l) dl$$

$$= \int_{l_{\min}}^L \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma l} \times \exp\left[-\frac{(\log l - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dl \quad (12)$$

となる (第10図)。これは、累積対数正規分布を表す式であり、このような理由により確率 $Q(L)$ は累積対数正規分布で近似されと考えられる。

さらに、第3集団のサイズ分布 $n_3(L)$ にこの確率 $Q(L)$ を掛けることによって第4集団のサイズ分布 $n_4(L)$ になる。

$$n_4(L) = n_3(L) \times Q(L) \quad (13)$$

第3集団のサイズ分布 $n_3(L)$ (もしくは、累積サイ

第10図 画像上のリニアメントの長さのリニアメント業認識抽出される確率 $Q(L)$

ズ分布 $N_3(L)$ は、3.4で述べたように求めることができない。そこで、累積サイズ分布・サイズ分布において、第3集団のサイズ分布 $n_3(L) \doteq$ 第2集団のサイズ分布 $n_2(L)$ (もしくは、第3集団の累積サイズ分布 $N_3(L) \doteq$ 第2集団の累積サイズ分布 $N_2(L)$) と見なすことができるかと仮定する。すると、(13)式は、

$$n_4(L) \doteq n_2(L) \times Q(L) \quad (14)$$

と、書き換えられる。さらに、(7')式、(12)式より

$$n_4(L) \doteq c' \times L^{-(D+1)} \times \int_{l_{\min}}^L \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma l} \times \exp\left[-\frac{(\log l - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dl \quad (15)$$

(c' , μ , σ : 定数)

が得られる。

この(15)式を用いて理論分布を示したものが第7図b (サイズ分布)、第8図b (累積サイズ分布) である。これらの図は、第7図a、第8図aの実際のデータ分布に対して、(15)式のパラメータ (c' , μ , σ) を変化させて肉眼的にベストフィットしたものである。

4. リニアメントのサイズ分布の差とその発生要因の考察

4.1 グランドベースエフェクト (A-factor)

グランドベースエフェクト (A-factor) は、断裂系 (第1集団) から地表面上のリニアメント (第2集団) に至る過程と定義される。

A-factor には、少なくとも4つ (A-1~A-4) の影響が考えられるが、累積サイズ分布において最もその影響が強いのは、3.3で前述したように、その分布が直線状ではなくやや上に凸の曲線となっていることから考えて、A-1「断裂の破砕帯が大きいものほど地表面に現れやすい。」であろう。

なお、第4図(b)及び第6図で推定した第2集団の曲線は、第6図の分布の包絡線よりもやや上側(y軸方向性の向き)に位置しているが、これはC-1の影響を考慮したためである。

4.2 イメージベースエフェクト (B-factor)

イメージベースエフェクト (B-factor) は、地表面上のリニアメント (第2集団) から画像上のリニアメント (第3集団) に至る過程と定義される。

B-factor には少なくとも4つ (B-1~B-4) の要素が考えられ、その結果として累積サイズ分布にその影響が現れる。しかしながら、現段階においては、この累積サイズ分布を推定することは困難であるため、別の機会に考察したい。

4.3 ヒューマンエフェクト (C-factor)

ヒューマンエフェクト (C-factor) は、画像上のリニアメント (第3集団) から認識抽出されたリニアメント (第4集団) に至る過程と定義される。

第4集団の累積サイズ分布を表わしているのは第4図(c)であるが、これは、第5図bの実測値より描いた曲線である。この図から第4集団と第2集団 (もしくは第1集団) との間には大きな差異があることが分かる。このような差異を生み出す最大の原因は、3.5で前述したようにC-factorのうちのC-1「人間の目による抽出においては長いリニアメントほど認識抽出されやすい。」であろう。

さらに、C-1以外の影響も観察できる。第11図は、第7図aと第7図bを同一両対数グラフ上にのせた

第11図 北海道大夕張地域の空中写真のサイズ分布とその理論分布
白丸：実測値，黒丸：理論値

ものである。第11図中の斜線部は、C-2「A-3によって一本の断裂が複数の地表面上のリニアメントとして現れたものを、観察者の条件により、その一群のリニアメントを一本とみなしたり、複数とみなしたりする」およびC-3「画像の大きさには限界があるので画像上のリニアメントのうち長くかつ幅の広いものは、認識されにくい」の影響によるものと考えられる。斜線部の中で比較的長さの短い側ではC-2の影響が、長い側ではC-3の影響が強いと考えられる。

ここで、C-2の影響はやや複雑であり説明が必要である。これは、観察者の条件により、ある一群のリニアメントを一本とみなしたり、複数とみなしたりするため、その条件によりそのどちらか一方(今回の場合、複数とみなす方)だけに偏るためであろう。すなわちこれは、断裂の性状によるもので、観察のスケールの違いにより生じるものである。

断裂は、細かくみた場合、地表面上との交線が一筋の線をなすのではなく、一般には第12図aに示すような断裂群をなすことが多い^{22),23)}。このような断裂群は複数の断裂に見えるが粗視化してみれば一本の断裂にも見える(第12図b)。このことは、リニアメントも同様にいえる。第12図bがリニアメントとして現れるときは第12図cのような形態をなすことが多く、スケールの違いによって一本にも複数にも数えることができる。

つまり、観察者のスケールと断裂の規模との関係によって、C-2の影響の仕方に変化が現れるわけである。ある一定のスケール下の観察において、そのスケールに対して相対的に十分に長いリニアメントにはC-2の影響が強く働き、こうした長いリニアメントのほ

第12図 断裂群

とんど複数の断裂とみなすようになる。よって、相対的に長いリニアメントは、その頻度を減じる。この減少分が第11図の斜線部に当たる。

5. ま と め

画像データから抽出されたリニアメントの累積サイズ分布・サイズ分布について考察し、以下の結論を得ることができた。

1) リニアメントは、その抽出過程において第3図に示すような様々な影響を受ける。これを、説明するために抽出過程を3段階に区分し、それぞれの間に4つの集団を仮定した。

2) リニアメントの累積サイズ分布は、第4図に示すような変化を示す。

第1集団では、両対数上で直線分布を示してそのフラクタル次元 D はほぼ2である。

第2集団では、緩やかな曲線分布を示しリニアメントの長さが長い方に行くにしたがいそのフラクタル次元 D は2に近ずき、短い方に行くにしたがい1.6~1.8まで減少する。

第4集団においては、第4図(c)に示すような特徴的な、上に凸の曲線分布を示す。

3) 累積サイズ分布・サイズ分布に変化をもたらす原因について考察し、各抽出過程における諸効果について次のような結果を得た。

第1集団から第2集団に至る過程においてはA-1「断裂の破碎帯が大きいものほど地表面に現れやすい。」の影響が強く、さらに第2集団より第4集団に至る過程にあたっては、C-1「人間の目による抽出においては長いリニアメントほど認識抽出されやすい。」、C-2「A-3によって一本の断裂が複数の地表面上のリニアメントとして現れたものを、観察者の条件により、その一群のリニアメントを一本とみなしたり、複数とみなしたりする」およびC-3「画像の大きさには限界があるので画像上のリニアメントのうち長くかつ幅の広いものは、認識されにくい。」の影響が考えられた。

この中では、とくにC-1の影響が強く、第4集団の理論分布は、この影響を考え以下の式で与えることができる。

$$n_4(L) \doteq c' \times L^{-(D+1)} \times$$

$$\int_{l_{\min}}^L \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma l} \times \exp\left[-\frac{(\log l - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dl$$

ここで、 $n_4(L)$ は抽出されたりニアメントの頻度、 L はリニアメントの長さ、 l は長さ L のリニアメントを判断するための長さ、 c' 、 μ 、 σ は定数である。

この研究によって、リニアメントの抽出過程における様々な影響を、システムティックに描くことができ、さらに、累積サイズ分布の変化を明確にすることができた。これは、統計解析によるリニアメントの定量的評価の可能性を広げるであろう。例えば、リニアメントの統計解析を行う場合、人間の眼または自動抽出によって取得されたりニアメントの累積サイズ・サイズ分布がこの研究によって求めた理論的な累積サイズ・サイズ分布に近似していれば、そのリニアメントの定量的評価の信頼性も高くなる。

累積サイズ分布の第2集団、第3集団についてはまだ多くの問題を残しており、さらに追求する必要がある。また、この定量的評価の可能性を広げるためにも、リニアメントの抽出過程における影響について、累積サイズ・サイズ分布の観点以外からもその影響について研究がなされることが望まれる。

引用文献

- 1) 土田聡, 1987: リニアメントの長さの頻度分布, 写真測量学会昭和62年秋季学術講演会発表論文集, 229-234.
- 2) Tsuchida, S., Yamaguchi, Y. and Hase, H., 1988: Investigation of Lineaments from Remote Sensing Data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **27**, B7, commission VII, 619-628.
- 3) Nür, A. 1982: The origin of tensile fracture lineaments, *Jour. Struc. Geol.*, **4**, 1, 31-40.
- 4) 山口靖・長谷紘和, 1983: 多様な画像によるリニアメント頻度の解析—レーダ画像の屋久島地域の適用例について—, 写真測量とリモートセンシング, **22**, 3, 4-13.
- 5) Hobbs, W.H., 1904: Lineaments of Atlantic Border region, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **15**, 483-506.
- 6) O' Leary, D.W., Friedman, J.D. and Pohn, C.A., 1976: Lineament, linear, lineation: Some proposed new standard for term, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **87**, 1463-1469.
- 7) Bates, R.L. and Jackson, J.A., 1987: *Glossary of Geology-3rd*, Amer. Geol. Inst., 788pp.
- 8) 山口靖・長谷紘和, 1982: レーダ映像法による日本全国の地熱資源調査, 測量, **3**, 12-20.
- 9) 長谷紘和・山口靖・村岡博文, 1983: 地形・地質情報としてのリニアメント, 月刊地球, **5**, 11, 695-699.
- 10) 鈴木増雄, 1986: 「次元」の概念の拡張, 別冊数理科学「形・フラクタル」, 109-117.
- 11) 高安秀樹, 1986: フラクタル, 朝倉書店, 186pp.
- 12) 川上伸一・水谷 仁・高木靖彦, 1986: 衝撃破壊における破片のサイズ分布, 数理地震学, 統計数理研究所, 148-159.
- 13) 高安秀樹, 1986: 破壊のフラクタル, 数理地震学, 統計数理研究所, 60-62.
- 14) Fujiwara, A., Kamimoto, G. and Tsukamoto, A., 1977: Destruction of Basaltic Bodies by High-Velocity Impact, *Icarus*, **31**, 277-288.
- 15) 水谷仁, 1980: クレータの科学, 東京大学出版会, 168 pp.
- 16) Matsushita, M., 1985: Fractal Viewpoint of Practure and Accretion, *Jour. Phys. Soc. Japan*, **54**, 3, 857-860.
- 17) 宇津徳治, 1977: 地震学, 共立出版, 310pp.
- 18) 伊藤敬祐, 1987: 宇宙と地震のフラクタル構造, フラクタル科学—高安秀樹編, 朝倉書店, 258pp.
- 19) 山科健一郎, 1987: 地震活動の性質, 地震の事典—宇津徳治ほか編, 朝倉書店, 150-191.
- 20) 大野博之・亀谷祐志・小島圭二, 1987: 岩盤割れ目に見るフラクタル性, 日本応用地質学会昭和62年度研究発表会講演論文集, 57-60.
- 21) Gutenberg, B. and C. F. Richter, 1944: Frequency of earthquakes in California, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **34**, 185-188.
- 22) Woodcock, N. H. and Fishcjr, M., 1986: Strike-Slip duplexes, *Jour. Struc. Geol.*, **8**, 7, 725-735.
- 23) Naylor, M.A., Mandel, G. and Sijpesteijn, C.H.K., 1986: Fault geometries in basement-induced wrench faulting under different, *Jour. Struc. Geol.*, **8**, 7, 737-752.