

## LANDSAT 画像からの水系情報の抽出と記述

谷口, 倫一郎  
九州大学大学院総合理工学研究科情報システム学専攻

渡辺, 範人  
株式会社日立製作所

河口, 英二  
九州大学大学院総合理工学研究科情報システム学専攻

<https://doi.org/10.15017/17633>

---

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 7 (1), pp.107-113, 1985-08-01. 九州大学大学院総合理工学研究科  
バージョン :  
権利関係 :

## LANDSAT 画像からの水系情報の抽出と記述

谷口倫一郎\*・渡辺範人\*\*・河口英二\*  
(昭和60年3月30日 受理)Extraction and Description of Waters Information  
from LANDSAT MSS Data

Rin-ichiro TANIGUCHI\*, Norito WATANABE\*\* and Eiji KAWAGUCHI\*

In this research, we present the methods to extract waters from LANDSAT MSS data and to represent the extracted information. In the extraction process, it is difficult to detect small parts of waters such as rivers which are narrower than a pixel width of image data. In order to solve this problem, we divide the detection process into primary extraction process and the secondary extraction process: the primary one detects large scaled parts like seas, lakes, wide rivers, and the secondary one infers narrow rivers, based on the information extracted by the former.

After the waters are extracted, they are represented in a graph structure, in which nodes correspond to sources, junctions, and mouths of rivers, and branches correspond to river courses and coast lines. Each node or branch bears its geographical attributes. This paper gives detailed presentation of our methods.

## 1. 緒 言

近年リモートセンシングは、土地利用分析・環境調査等における重要な技術となってきたが、今後更に大量の情報が提供されると考えられ、その処理の総合的な機械化が必要不可欠となってくる。特に、リモートセンシングで得られる情報の大部分は画像であり、その画像処理に対する要求は強く各所で研究が行なわれている。しかし、これらの処理のほとんどは、画像判読の専門家の補助的役割を果たすに過ぎず、最終的な判読結果を与えるものではない。従って処理の機械化に当っては、この専門家の判読の手続きを自動化することが必要である。

このような立場に立ち、我々はリモートセンシングデータとして LANDSAT MSS データを取り上げ、その計算機による理解の研究を進めている。現在、まずその第一段階として地形情報の自動抽出に関する研究を行っているが、本論文では、その中で、LANDSAT 画像からの水系（海・湖・河川等）情報の抽出及びその記述について述べる。

## 2. 水系の抽出

対象とする LANDSAT MSS データ（以下 MSS データと略）は Table 1 に示すように 4 つのバンドから構成される多次元画像データであり、その解像度は地表約 80 m である。従来行なわれてきた各種の MSS データ解析手法ではその解像度の制限のため、大規模な水系である海・湖・川幅の大きい河川（下流部）の抽出は比較的容易であったが、川幅の小さい河川（中上流）となると、必ずしも簡単には抽出できていなかった。そこでここでは、水系の抽出過程を 1 次抽出と 2 次抽出に分け、前者で海・湖・広い河川等の 1 画素幅以上の水系部を抽出し、2 次抽出では 1 次抽出で識別された河川部を基にして細い河川を推定抽出するという手段を開発した。以下ではこの水系抽出の各処理ステップについて述べる。

Table 1. Wavelength of LANDSAT MSS

band	wavelength ( $\mu\text{m}$ )
4	0.5~0.6 (green)
5	0.6~0.7 (red)
6	0.7~0.8 (reflected infrared)
7	0.8~1.1 (reflected infrared)

\* 情報システム学専攻

\*\* 情報システム学専攻修士課程 [現在(株)日立製作所]

### 2.1. 水系の1次抽出

MSS データの解析において、水系の解析には通常 band 7 が使用されその暗部が水系として抽出されるが、このような単純な方法では影・市街地等の不要な部分まで抽出してしまうことが多い。また、データのダイナミックレンジが撮影時期によって変動するため、しきい値の決定も容易ではない。この問題に対処するため、MSS データが多次元であることを利用して各次元間の相関で分析を行なうことが多い。手法としては、正規化演算や多変量解析等が用いられることが多いが、ここでは色空間変換<sup>1)</sup>による分析の手法を取り入れた。この色空間変換法は多次元データを、マンセル表色系の HIS (色相 (Hue), 明度 (Intensity), 彩度 (Saturation)) 空間の色彩対応値に変換するものであり、得られた値は人間の知覚系に良く適合するため、その取扱いが容易であるという特徴を持っている。また、HIS は各々原スペクトルの分布・反射光強度・飽和状態に対応すると考えられており、反射体の特性と密接な関係があり、対象物と HIS 間により明確な対応付けが可能と考えられている。この変換を多次元データ (4次元以上) に適用する場合は、通常各次元相互の直交関係は無視するが、このようにすると、特徴量の次元数が減少し、クラスタリングが的確に行なわれないことがある。ここで対象とする水系に対しては band 6 と band 7 はほぼ同様な感度を示すので、ここでは band 6 を用いずに、band 4, band 5, band 7 の3チャンネルを各々 B (青), G (緑), R (赤) に対応させて、HIS 空間に変換するという方法を用い (この R, G, B への対応は LANDSAT データの疑似カラー表示に用いられる), その問題を回避している。

RGB と HIS の対応関係は以下の通りである。

$$I = R + G + B$$

$$H = \begin{cases} \theta & (b \leq g) \\ 360^\circ - \theta & (b > g) \end{cases}$$

$$S = [1 - 3\min(r, g, b)] \times 100(\%)$$

ただし

$$r = \frac{R}{I}, g = \frac{G}{I}, b = \frac{B}{I}$$

$$\theta = \cos^{-1} \left[ \frac{2r - g - b}{\sqrt{6 \left\{ \left( r - \frac{1}{3} \right)^2 + \left( g - \frac{1}{3} \right)^2 + \left( b - \frac{1}{3} \right)^2 \right\}}} \right]$$

水系の抽出を行うための拘束条件として、実験により、以下の3条件を満足する画素を水系の1次候補とした。

- (1)  $150^\circ < H < 220^\circ$
- (2)  $I < 60$
- (3)  $25\% < S$

### 2.2. 河川部と海域の分離

河川部と海域の分離は、基本的には二値画像の縮小・拡張<sup>2)</sup>を組み合わせて行う。以下の記述において二値画像の連結成分  $S$  を  $t$  回拡張することを  $S^{(t)}$ ,  $t$  回縮小することを  $S^{(-t)}$  と表現するが、各々の意味は、 $S^{(t)}$  は  $S$  からの距離  $t$  以内にある  $\bar{S}$  ( $S$  の補集合) の上の全ての点と  $S$  自身の和であり、 $S^{(-t)}$  は  $\bar{S}$  から距離  $t$  以内にある  $S$  上の点を  $S$  から除いたものである。

そこで、 $S$  を  $k$  回縮小した後に  $k$  回拡張したものと  $S$  との差成分  $C = S - (S^{(-k)})^{(k)}$  の特性を考えると、 $C$  の各連結成分  $C_i$  上の全ての点は明らかに  $\bar{S}$  から距離  $k$  以内にあり、また、 $C_i$  の幅は高々  $2k$  である。従って、 $C_i$  の面積が  $k^2$  に比較して十分大きければ、これは  $S$  の伸張部と考えることができる。ここではこの考えに基づいて河川部 ( $C$  部) と海域 ( $(S^{(-k)})^{(k)}$  部) を分離している。

この際問題となるのは、縮小・再拡張を行なう回数  $k$  をどのように決定するかということである。つまり、画像全体に対し、均一の  $k$  を用いると、河川の規模によって河川の途中から海域が分離されたり (Fig. 1(a)), 複数の河川が1つの河川として検出されたり (Fig. 1(b)) する。そこで、筆者らは、 $k$  を連続的に変化させ、 $S - (S^{(-k)})^{(k)}$  と  $S - (S^{(-k+n)})^{(k+n)}$  の各連結領域を比較し、一致した領域はそれ以上変化させないことにした。この条件が、全ての連結領域について成立した時点で、縮小・拡張の繰り返しを停止する。

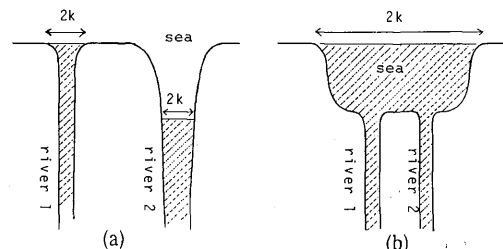


Fig. 1 River extraction by shrink/expansion (iteration:  $k$ )

この手法により、河川の規模によらず海域と河川部の分離が可能となるが、ここでは実験から  $n=6$  としている。

### 2.3. 河川の認定

2.2. で述べた方法により、海域と河川部の分離が可能となるが、同時に、入江等の海が陸域に入り込んだ部分も海と分離してしまう。そこで、海から分離された水系1次候補の各連結領域に対し、その領域が河川か入江かを判定しなければならない。

ここでは、このような河川の認定に関しては水系候補に対して外接長方形を求め、連結成分の面積  $S$  と長方形の二辺の長さ  $l, m$  ( $l \geq m$ ) により以下のようなルールを設けて判定を行なっている。

$$S \geq a \quad : a \text{ 未満はノイズ}$$

$$S/l^2 \leq b \quad : \text{細長さ}$$

また、海に接している場合は、入江と区別するため河口の幅による条件を追加している。河口の幅を  $K$  とすると

$$S/K^2 \geq c \quad : \text{入込みの深さ}$$

でなければ、河川ではないことにしている。

尚、以上の判定ルールによって非河川とされた連結領域のうち、海に接しているものをここでは入江と判定し、それ以外はノイズとしている。

### 2.4. 水系の2次抽出

1次抽出の水系候補を基に、不確かな水系部分（主として細い河川）を推定抽出する方法として、水系候補の端点及び孤立点から、水系に対して感度の高い band 7 のデータにおいて beam search 法により水系を抽出するという手法を開発した。この場合の端点とは、ある水系候補点の8近傍中に候補点が3以下しか存在せず、しかもそれらが単連結である場合のことである。

ここで用いた beam search 法は水系候補の各端点での端点の方向に従って探索範囲を限定し（ただし孤立点の場合は全方向）、その中で各方向に対してエッジ性を計算し、最もエッジ性の高い点を新たな端点として再度サーチするという手順である。これは、「一般的に河川の方向は急激には変化しない」という知識に基づいている。具体的には、各端点に対応して Fig. 2 のように探索範囲が設定され、その各方向に対して  $\sum A_i, \sum B_i, \sum C_i$  を計算する。その時、

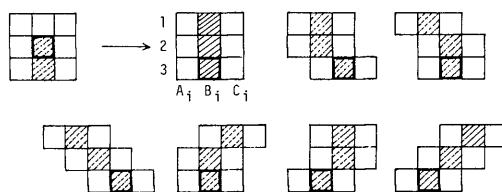


Fig. 2 Search areas for beam search

$$\sum_{i=1}^3 A_i \geq \sum_{i=1}^3 B_i + T \leq \sum_{i=1}^3 C_i \quad (T > 0)^{9)}$$

を満たし、エッジ性  $T$  が最大になる方向の  $B_2$  を次の探索開始点とする。また、河川の分岐に対応できるように、エッジ性の2番目に高い点が最大の点と差が少ない場合も、探索開始点として登録するようにしている。探索の終了条件としては  $T$  の最大値  $T_{max}$  と1次抽出を用いた色相  $H$  に対し、以下の条件が満足されなくなった時としている。

$$T_{max} > 3 \quad : \text{エッジ性}$$

$$25^\circ < H < 350^\circ \quad : \text{水系の必要条件}$$

実際の手続きは、ノイズの影響を避けるために、以下の3パス構成となっている。

#### pass-1 端点からの探索

1次抽出の水系候補における端点は、ノイズによって生じた可能性が高いので、1回目の探索では、端点のみを探索の対象とする。

#### pass-2 河川の認定

2.3. で述べた河川認定のルールを用いて、pass-1の探索結果の連結成分について河川候補を選択する。

#### pass-3 孤立点からの探索とノイズの除去

この時点で孤立点を対象とした探索を行なう。この結果抽出された成分が、pass-2 で河川と認定された部分と連結したものは河川と判定し、そうでないものはノイズとして削除する。

### 2.5. 水系抽出の実験

2.1.-2.4. で述べた手法に従って処理を行なった実験例を示す。Fig. 3 (a)-(e) 九州の筑後川下流のデータを用いて河川を抽出した例である。(a) は MSS (band 7) の一部 (512×512), (b) は水系の1次抽出の結果, (c) は2次抽出の pass-1 後の結果, (d) は pass-3 の孤立点からの探索結果, (e) は最終的に水系として抽出

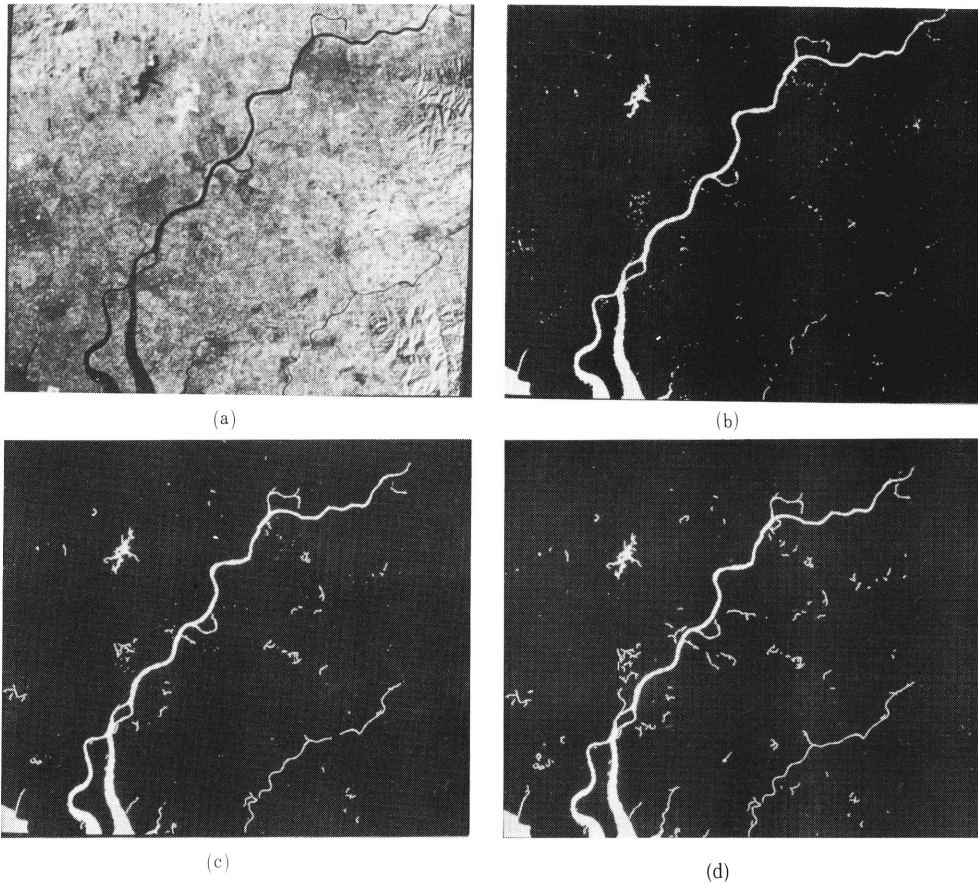


Fig. 3 Extraction of waters from LANDSAT image (continued on the next page)

された部分である。尚, pass-2 の河川認定に用いたパラメータは,  $a=10, b=0.1$  である。Fig. 3 (f)-(h) は大分県国東半島付近のデータを用いて, 入江を分離した例である。(f) が MSS データ (band 7) の一部 ( $512 \times 512$ ), (g) は抽出された水系, (h) が分離された入江である。河川と入江の分離に用いたパラメータは,  $a=5, b=0.2, c=0.8$  である。

### 3. 水系情報の記述

2. で水系の抽出について述べたが, ここでは得られた水系情報の記述方法について述べる。

#### 3.1. 基本的な記述

水系の構造は基本的には, いくつかの「源流点 (source)」から流れ出した「河川 (river course)」が「合流点 (junction)」で合流するという過程を繰り返し,

最終的に「河口 (mouth)」で海に流れ込むという構造としてモデル化される。この構造は, 極く自然に以下のようなグラフ構造として記述することができる。

節点 → 源流点・河口 (端点)  
           合流点          (分岐点)  
 枝 → 河川部

更に, 隣接する河口の間の「海岸線 (coast line)」を枝で表現することによって, 複数の河川を 1 つの体系として表現が可能になる。このようなグラフ構造のモデルを Fig. 4 に示すが, 我々は, 水系情報をこのようなグラフ構造で記述しており, 各節点及び枝に対して以下のような属性情報を付与している。

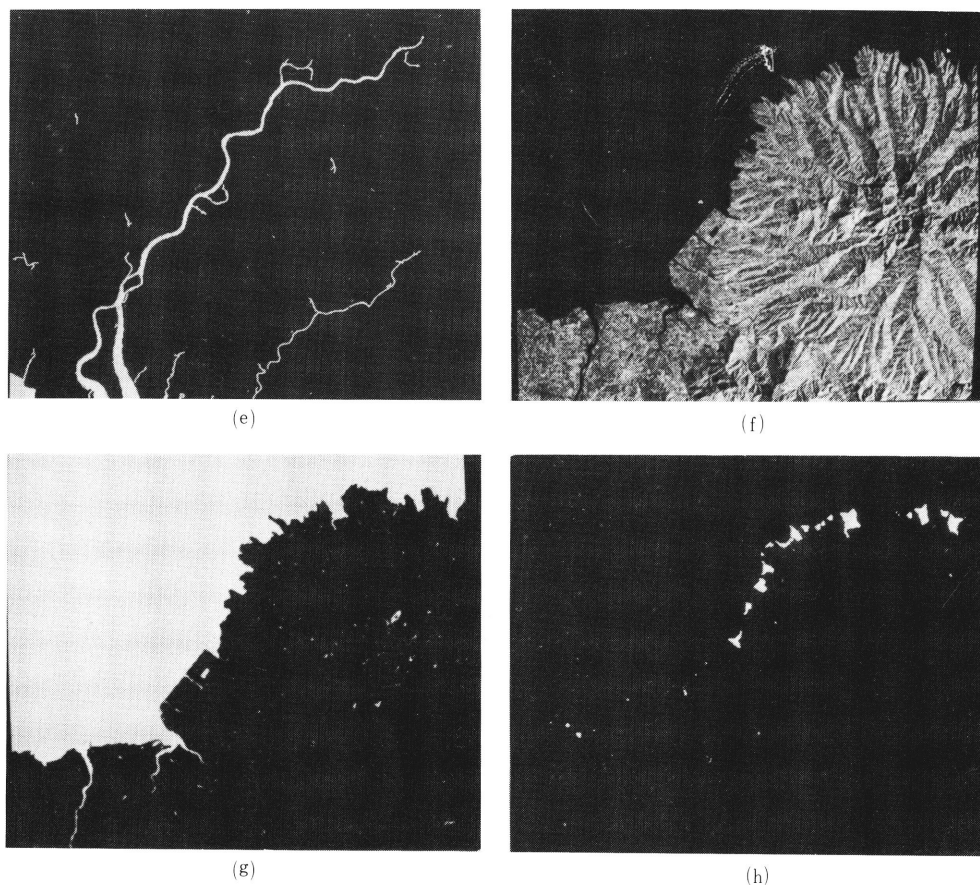


Fig. 3-1) Extraction of waters from LANDSAT image

源流点：位置，レベル  
 合流点：位置，分岐の数，レベル  
 河口：位置，河口の幅，海岸線との境界点  
 河川データ：長さ，折線近似データ，点列，川幅  
 海岸線データ：長さ，複雑さ，折線近似データ，点列  
 (レベル：河口からその点までの合流点の数)  
 折線近似データ：Sklanskyの手法<sup>9)</sup>により求める  
 点列：河川データに関しては細線化<sup>10)</sup>後のデータ  
 複雑さ：次節で記述

尚，Fig. 4における REVERSE は点列及び折線近似データを逆向きにすることを意味しており，枝に関する情報が双方向性になるようにしている。

河川の記述に関する注意点として，河川の下流で起

こる河道の分岐は (Fig. 5 参照)，河川が分岐したとは考えられないので，水系の抽出で得られた河川データに関して以下のルールを設けて，三角州・中州としての処理を行なっている。

ルール

- ① distance (分岐点，河口)  $\leq d \Rightarrow$  三角州の処理  
 河道にはさまれた領域  $\rightarrow$  三角州  
 2つの河口  $\rightarrow$  1つの河口 (河口幅の変更)  
 2本の河道  $\rightarrow$  1本の河川データ

- ② distance (分岐点，分岐点)  $\leq d \Rightarrow$  中州の処理  
 河道にはさまれた領域  $\rightarrow$  中州  
 2本の河道  $\rightarrow$  1本の河川データ (川幅の変更)

### 3.2. 複雑さ

海岸線に関する記述には「入り組んだリアス式海岸」「単調な砂浜」等その複雑さを示すことが多い。しか

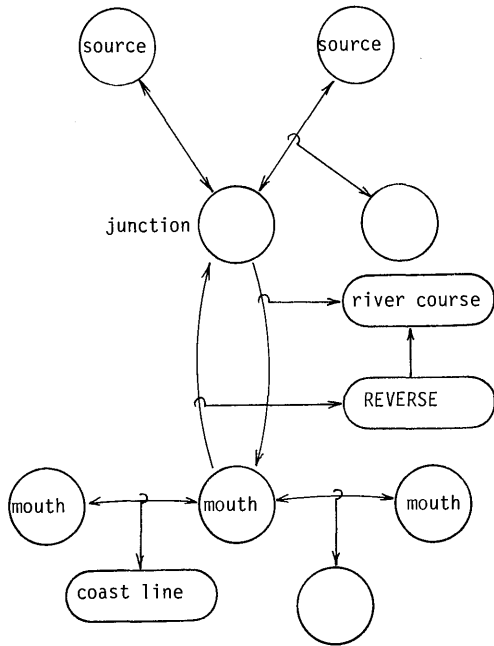


Fig. 4 Structure of water system

し、この複雑さは人間の直感的なものであるため、複雑さを示す測度として何が適当であるかという点については議論の多いところである。ここでは、地形学における Richardson の法則<sup>6)</sup>に基づいて複雑さの測度を求めることにした。

Richardson の法則は以下のように与えられている。

$$L(r) \propto r^{-\alpha}$$

ただし、 $r$  : 海岸線を測定する時の単位となるスパン

$L(r)$  : スパン  $r$  で測定した時の海岸線の全長

Fig. 6 のような曲線をスパン  $r_1, r_2 (= 2 \times r_1)$  で測定した場合、その全長は  $L(r_1) = 3 \times r_1, L(r_2) = r_2$  となり、 $L(r_1) > L(r_2)$  となる。一般に、 $r$  が大きくなると  $L(r)$  は小さくなるが、Richardson は海岸線の場合  $r$  と  $L(r)$  の間に上記の関係式が近似的に成立するとしている。このときに、パラメータ  $\alpha$  の影響を考えてみると、 $\alpha$  が小さいほど曲線の変化は小さくなり (直線では  $\alpha = 0$ )、大きいほど変化が激しくなる。従って、海岸線

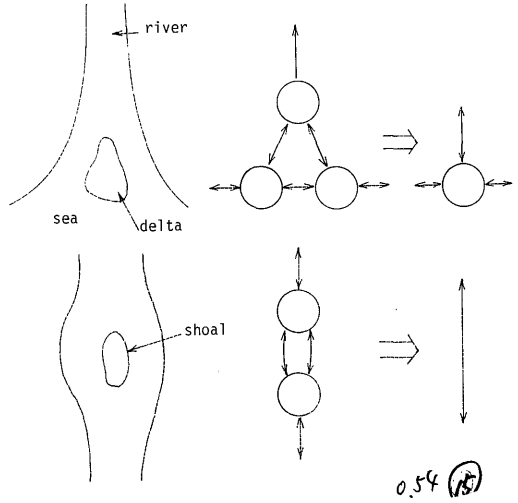


Fig. 5 Branch of river courses

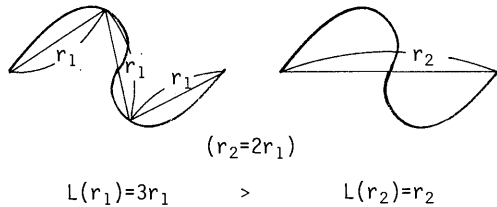


Fig. 6 Measurement of curve

のデータから  $\alpha$  を求めれば、それがその海岸線の複雑さを示す測度として用いることができると考えられる。そこで、実際の海岸データに対してこの Richardson の法則がどの程度当てはまるかについての実験を行なった。式の両辺の対数をとると

$$\log L(r) = -\alpha \cdot \log r + K \quad (K \text{ は定数})$$

であり、 $\log L(r)$  と  $\log r$  を軸として測定値をグラフに表わすと傾き  $-\alpha$  の直線になるはずである。実際の測定結果を Fig. 7 ((a) 長崎県大村市付近, (b) 佐賀県鹿島市～長崎県諫早市の海岸, (c) 大分県国東半島の海岸線) に示す。その際のスパン  $r$  の大きさは、4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 30, 35, 40, 45, 50 (画素長) である。結果から分かるように、海岸線はおおよそ Richardson の法則を満足しており、最小二乗近似で求めた各々の  $\alpha$  0.06, 0.14, 0.24 は人間の感ず

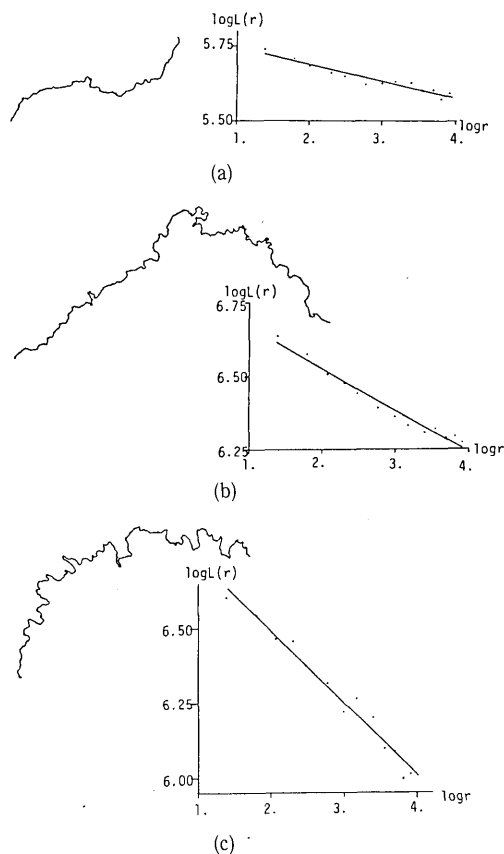


Fig. 7 Richardson's law on coast lines

る複雑さとともに増大していることが判る。

#### 4. 結 言

本論文では、LANDSAT MSS データからの水系情報の抽出とその記述について述べた。水系の抽出に関しては、1次抽出で大規模な水系を抽出し、その結果に基づいて2次抽出で小規模な河川を推定抽出す

るという方法を開発した。実験から、本方式の有効性を確認することができた。また、水系情報の記述に関しては、グラフ構造化により複数の河川を含む水系を1つの体系で記述することができるようになった。その際、海岸線の記述で重要な測度である「複雑さ」をRichardson法則に従って数量化した。

今後の課題としては、河川の不連続部を接続する手法の開発、及び1画素幅以下の細い河川の川幅の推定等があげられる。また地表解像度約30mのLANDSAT TM データを利用する際の、抽出精度の向上も重要な問題である。

#### 謝 辞

日頃御指導頂く本研究科情報システム学専攻、田町常夫教授に感謝致します。尚、本研究の一部は文部省科学研究費補助金特定研究「多元知識情報の知的処理と統合化に関する研究」59218017の援助を受けた。

#### 参 考 文 献

- 1) 村井, 前田: "LANDSAT データの色空間変換による土地被覆分類", 第15回画像工学コンファレンス論文集 (1984).
- 2) Rosenfeld, A. and Kak, A. C.: Digital Picture Processing, Academic Press, New York (1976).
- 3) Vanderbrug, G. J.: "Line detection in satellite imagery", IEEE Trans. Geosci. Electron, Vol. GE-14, No. 1 (1976).
- 4) Sklansky, J. and Gonzalez, V.: "Fast polygonal approximation of digitized curves", Pattern Recognition, Vol. 12, No. 5 (1980).
- 5) Hilditch, C. J.: "Linear skeletons from square copboards" Machine Intelligence 4, Edinburgh University Press (1969).
- 6) Scheidegger, A. E.: Theoretical Geomorphology, Springer-Verlag, Berlin · Heidelberg (1970). (邦訳, 奥田節夫監訳「理論地形学」, 古今書院 (1980).)