

1994年 10月

APA No. 59-7

財団法人日本測量調査技術協会

日本とアメリカにおける総描の比較

— 河川の単純化・平滑化について考察 —

塚 田 野野子

1. はじめに

すべての地図はその利用目的、縮尺等に応じて表される地形・地物の取捨選択、単純化、転位等の結果である。これらの工程を総称して総描 (Generalization) という。狭義な意味においての総描は、ある縮尺の地図を基図にしてより小縮尺の地図を作成する場合の地形・地物の取捨選択、単純化、転位等の工程をいう。本研究は狭義な意味での総描を考察する。

地図学において地図情報を正しく地図の読者に伝えるような地図を作成することは最も基本的であり重要な課題のひとつである。地図の質は総描の出来具合により決定されるといっても過言ではない。基図における地形・地物のイメージを編集される地図の利用目的、縮尺、縮尺変更による図の限界をふまえながら反映させるのが理想的な総描である。と、スイスの地図学者イムホフはその著書、Cartographic Relief Presentation において述べている (1965 and 1982)。総描はその工程においてカルトグラファーのさまざまな判断をたえまなく必要とされる。その判断基準は客観的なもの (例: 5級道路の長さが1.5 mm 以下なら採用しない) と主観的なもの (例: 一条河川の屈曲の激しい部分は適当に単純化せよ) がある。ひとつひとつの判断がその他の編集作業や出来上がる地図のイメージをふまえなくてはならない。よって、伝統的なマニュアルによる地図作成作業では熟練したカルトグラファーでなければ編集・総描作業はできないといわれている。

近年のコンピュータ技術の進歩により地図作成におけるさまざまな工程—データ入力、編集、描面、データ・ベース作成—をコンピュータにより作業しようという動きが世界的に顕著である。地図編集の総描行程を自動化しようという試みがさまざまなところで行われている (例: 国際地図学会の地図の自動編集・総

描についての作業部会、National Center for Geographic Information and Analysis の第3作業部会による Multiple Representation の研究作業)。しかし、地図編集・総描を自動化するようなプログラム—例えば1:25,000の地図から規定された図式に乗っ取った1:50,000の地図を自動的に作成できるような—を開発するのは決してたやすいことではない。自動編集の実現のための鍵は熟練したカルトグラファーに託されていた主観的判断基準をコンピュータ言語に適するように客観的・数量的にルールのセットとして表すこと—最終的には Knowledge-based systems の構築ではないかと近年の研究作業で認識されている (Buttenfield and McMaster, 1991)。ルールのセットを構築するためには cartographic knowledge を取得しなければならないがその出所として各国の地図作成機関による地形図とその作業要領 (マニュアル用) が研究されている。地形図作成工程は記号、誤差の許容範囲等が標準化され総描のためのルールを考察しやすいとされている (Buttenfield et al., 1991)。それではマニュアル用の作業要領において数量化しにくいルールはどこまで客観的に評価できるのだろうか?、たとえば、作業要領によく見られる「適当に単純化せよ」というルールにある「適当さ」は各国の地図作成機関の評価基準に乗っ取ったものであり、その評価基準をクリアしたものが地図という成果品になるのである。それならば編集元の基図と編集図を調べることによって単純化される「適当さ」が数値として得られないだろうか。そして、そうやって得られた「適当さ」は地図の利用目的、縮尺等の総描要因が同じならば異なる国でも共通だろうか?。その「適当さ」を数量化して比べてみるとどのような結果が得られるであろうか?

この研究は日本とアメリカの1:50,000地形図とその基図である1:25,000、1:24,000地形図上の一条

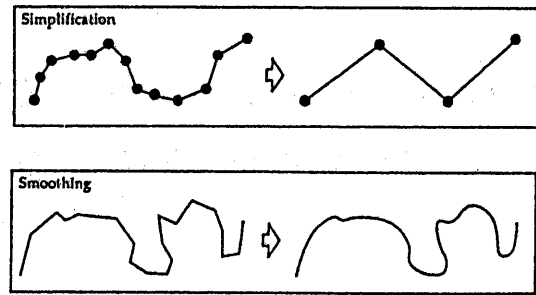
河川の単純化、平滑化の度合いを数量化し、比較することによって、従来の「適当に単純化せよ」という作業要領上の指示がどのように両国の地図の上で反映されているかを探ったものである。

なお、この研究は筆者の米国メリーランド大学地理学科修士課程在学における修士論文の一部である。

2. 線記号の単純化・平滑化

2.1 はじめに

ある縮尺の地図（基図）からより小さな縮尺の地図を縮小・編集する場合多くの線記号は単純化される。地図編集、総描の概念を定義する時、取捨選択、単純化等の作業工程を定義付けるアプローチ及び、縮尺、地図の目的、データの質等その制御要因を定義つけるアプローチが一般的であるがカルトグラファーによりその定義付けは微妙に異なる。本研究は作業工程の定義付けはMcMaster (1989) の「最も基本的なレベルにおいて総描は表現されるべきデータの取捨選択、そのデータのジオメトリの単純化、そして記号間の重なり等を解決するための転位である。」という定義に乗っ取り、制御要因は縮尺、地図の目的、データの質とする。単純化は「データの重要な特徴を残しながら不要な細部を除いていく」と定義される。単純化、なかでも線記号の単純化はコンピュータ技術の発達とともに1970、80年代に少なからぬカルトグラファー達がアルゴリズムを開発した (Douglas and Peucker, 1973; Freeman, 1978; Jenks, 1981)。デジタル・データ (ベクター) による線記号の構成はアナログ手法のそれとは異なる。アナログの線記号は基本的に連続的なものであるがベクターデータで現された線記号は x 、 y 座標を持つ複数の点をつないだものである。この違いによりマニュアルによる線記号の単純化はデジタル・ラインにおいては単純化と平滑化に区分される。図2-1はデジタル・ラインの単純化と平滑化の違いを現したものである。単純化は線記号の特徴を残しながら記号を構成するいくつかの座標点を消去するものである。平滑化も線記号の細部と屈曲を減らしていくものであるが同時にデータベースのいくつかの点の位置を転位したり新しい点を加えたりする。



Monmonier (1991, p.26)より

図2-1 デジタル・ラインの単純化と平滑化

2.2 線記号の単純化の度合いの判断基準

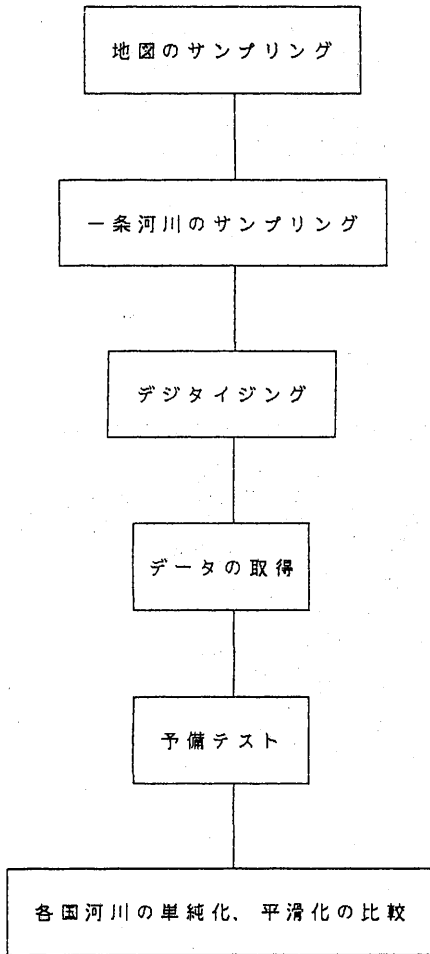
地図を編集・総描する技術がマニュアルであれコンピュータであれ、線記号の特徴的なディテールを残しながら単純化・平滑化することが良いと総描とされている。コンピュータは客観的で数値化できる基準を必要とする。線記号 (ベクターデータ) の単純化の度合いを判断する基準として vector displacement, retained angularity, retained line length などの尺度が使われている (Cromely, 1992)。マニュアルの編集工程では熟練したカルトグラファーが地図の目的、縮尺等をふまえながら“だいたいこれくらい”という基準で判断し単純化していく。その判断基準は客観化できるのだろうか？ この研究では retained line length (基図上の線の長さが編集図上でどの程度残されたか) を尺度として日本とアメリカのカルトグラファー達が1:50,000地形図をその倍の縮尺の地形図から編集・総描するときの一条河川の単純化、平滑化の度合いが同程度かどうか判断する。

3. 再び問題定義

1:50,000地形図を1:25,000、あるいは1:24,000地形図から編集・総描する場合、線記号を単純化する度合いの最適値は総描の制御要因が共通ならば異なる国でも共通だろうか。

4. 研究方法

4.1 実験のフロー



4.2 地図のサンプリング

この研究に用いた地図は建設省国土地理院発行の1:50,000地形図の清水と静岡、そしてその基図の一部である1:25,000地形図の駿河落合、牛妻、和田島、静岡、静岡西部と、米国地質調査所—United States Geological Survey(以下 USGS と略す)発行の1:50,000地形図の Pennsylvania 州の Allegheny County Map とその基図の一部である1:24,000地形図の Curtisville, Dorona, Glassport, Murrysville, Valencia である(表4-1参照)。山岳地帯を含み一条河川が多い地図をサンプルとして選んだ。

表4-1 実験に用いた地図

	編集図 (1:50,000)	基図 (1:24,000, 1:25,000)
日本	清水 静岡	駿河落合、牛妻、和田島 静岡、静岡西部
米国	Allegheny	Curtisville, Dorona, Glassport, Murrysville Valencia

4.3 一条河川のサンプリング

数ある線記号の中で一条河川を実験の対象として選んだ理由を以下にあげる：

1. 他の他物に比べて屈曲度が高いので単純化の度合いを調べやすい。
2. 自然地形の水部はなるべく転位しないなどの原則が各国の地形図作成要領にあることから異なる国の地形図における一条河川の単純化、平滑化の度合いは共通ではないかという仮定が立てられる。
3. 一条河川は他の地物に比べ図案上に比較的多いので実験の際サンプルを選びやすい。
4. 両国の一条河川の記号とも基図上と編集図上で同一であり、単純化の度合いが比較しやすい(図4-3参照)。

基本的にサーチ・サンプリング・メソッドに乗っ取り基図上で屈曲度が高く2.5 cm 以上の一条河川を32選んだ。両国のサンプル河川の屈曲度が同程度であるかどうかは後に述べる予備テストでチェックした。

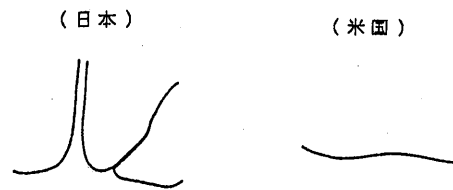


図4-3 日米の一条河川の記号

池心岳 61	畑窪湖 61	鎌ヶ島 55	南部 55	井出 ①	天母山 ①	印野 ①	御殿場 ②
寸又岐 温61	井川 61	湯の森 55	鎌井山 55	富士宮 ①	入山瀬 ①	安原山 ①	裾野 ②
蕎麦 粒61	千頭 61	駿河 60	和田島 60	蒲原 ②	吉原 ②	沼津 ②	三島 ②
高郷 61	石上 61	牛妻 60	清水 60	興津 ②	大瀬崎 ②	蘆山 ②	
家山 63	伊久美 63	静岡 西63郡	静岡 東63郡	駒越 ①	連厩山 59	修善寺 59	
八高山 63	向谷 63	焼津 63	静岡		土肥 59	湯ヶ島 59	
掛川 63	島田 63	住吉 63			仁科 58	湯ヶ井 58	
下平川 63	相良 63				伊豆 58	下田 58	

1:25,000

井川 62	南 55	富士宮 61	御殿場 61
千頭 62	清 61	水 ①	原 ①
家山 ①	静岡 ①	駒 58	越 61
掛川 ①	住吉 ②	吉 ①	下田 60

1:50,000

図4-1 サンプル地図のインデックス (日本)

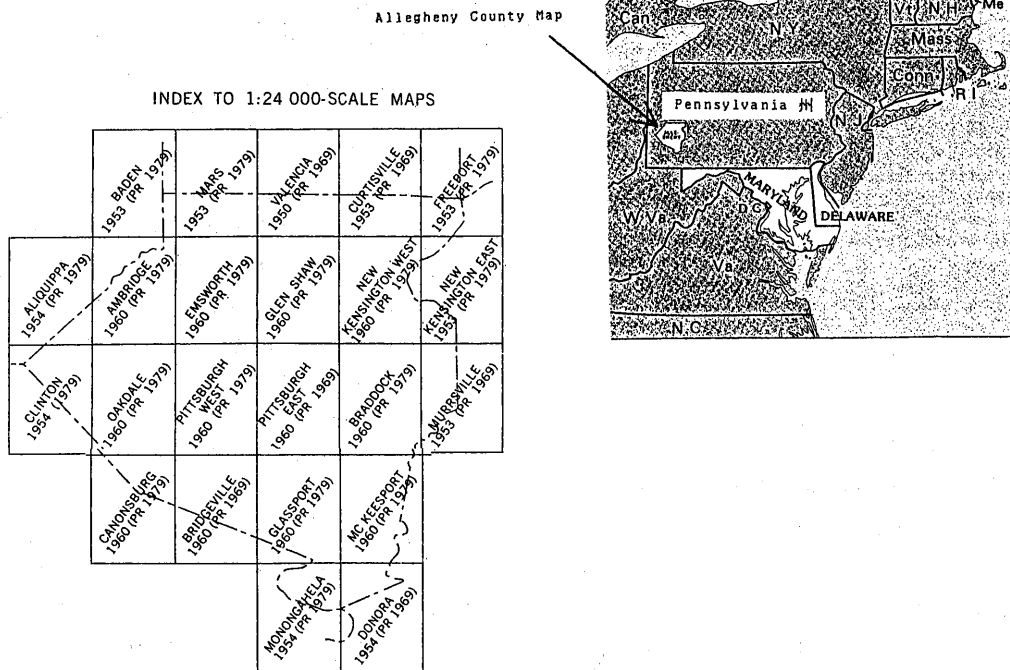


図4-2 サンプル地図のインデックス (米国)

4.4 デジタイジング

地理情報システム Arc/Info を用い各国のサンプル河川をデジタイジングし、各サンプル河川をデジタル化した。ルートミーンスクウェアエラーは0.002インチにセットした。なおこの研究で使った長さの単位はインチ (2.5 cm) である。基図上の河川はそのままの縮尺でデジタイズされ、編集図上の河川は200%拡大してデジタイズされた。

4.5 データの取得

表4-2はデジタイジングにより得られた各サンプル河川のデータ例である。

なお、USGS の地形図は1:24,000と1:50,000などの編集図上の河川は200%拡大されてデジタイズされたのち基図と同縮尺にするため50/48をかけたものを編集図上の長さとした。本研究は基図上の河川の1インチあたりのヴァータイズ数 (表4-2のh) を両

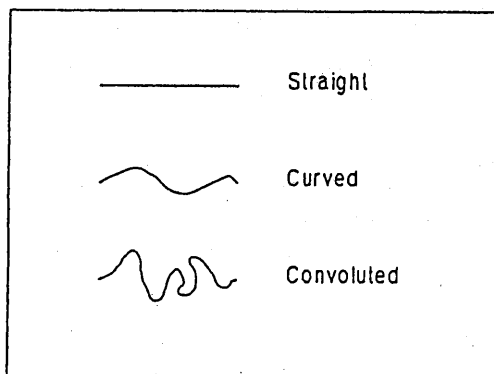
表4-2 各サンプル河川のデータ例

河川 I D	1
a 長さ (編集図上)	1.5349
b 長さ (基図上)	1.6622
c 長さの比 (a/b)	0.9234
d ヴァータイズ数 (編集図上)	41
e ヴァータイズ数 (基図上)	50
f ヴァータイズ数の比 (d/e)	0.8200
g ヴァータイズ数/1 インチ (編集図上)	26.71
h ヴァータイズ数/1 インチ (基図上)	30.08
i g/h	0.8800

国の基図上のサンプル河川の屈曲度を比較する尺度とし、長さの比 (表4-2の c) の両国の単純化の度合いを比較する尺度とした。

4.6 予備テスト

各国の基図上のサンプル河川が同程度の屈曲度を持っていなければ単純化、平滑化の度合いを比べるのは無意味であるので予備テストを行った。デジタルラインの屈曲度はそのラインのヴァータイズの密度によりある程度判断できる。Young (1990) の研究によると USGS のデジタル・ライン・グラフ (DLG) のデジタル・ラインのヴァータイズの密度は線記号の形を図4-4にあるように3種類 (straight, curved, convoluted) に分類すると、屈曲度の高い方から順に35ポイント/インチ、26ポイント/インチ、18ポイント/インチ



Young (1990, p.79) より

図4-4 屈曲度の分類

である。

本研究の基図上のサンプル河川のヴァータイズの密度の平均値は日本が30.89、アメリカが29.62である (表4-3参照)。日米両国のサンプル河川はかなり屈曲度が高いといえる。この平均値を統計学的に比べ屈曲度が同じ母集団からのサンプルかどうか下記の式を用いて調べた。ただし、

μ_1 : 日本的一条河川の母集団の推定される平均値

μ_2 : 米国の一条河川の母集団の推定される平均値

\bar{x}_1 : 日本のサンプル一条河川の平均値

\bar{x}_2 : 米国のサンプル一条河川の平均値

σ_1 : 日本のサンプル一条河川の標準偏差

σ_2 : 米国のサンプル一条河川の標準偏差

n_1 : 日本のサンプル河川数

n_2 : 米国のサンプル河川数

とする。そして、

帰無仮説: 両国のサンプル河川の屈曲度は同じ母集団からきている。

対抗仮説: 両国のサンプル河川の屈曲度は違う母集団からきている。

$$H_0: \mu_2 - \mu_1 = 0$$

$$H_A: \mu_2 - \mu_1 \neq 0$$

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{(\sigma_1^2/n_1) + (\sigma_2^2/n_2)}}$$

コンフィデンスレベルを95%とした場合、z 値の帰無仮説の採択域は1.96以下となる。表4-3にあるように予備テストの z 値は1.86であり帰無仮説を受け入れることになる。よって、予備テストの結果、日米両国の基図上のサンプル河川の屈曲度は同程度であることが統計学的に証明された。

表4-3 予備テストの結果

国 (サンプル数)	平均値	標準偏差	Z	P
日本 (32)	30.89	2.391	1.86	0.0314
米国 (32)	29.62	3.034		

4.7 各国河川の単純化、平滑化の比較

1:50,000地形図を200%拡大して基図である1:25,000地形図と比べてみた時に、もし全く総描をしていない1:50,000上の線記号の長さは1:25,000上で

対応する線記号のちょうど同じ100%になる。単純化の度合いが大きいほど編集図上の線の長さは基図上の同一の線の長さ比べて90%、80%と短くなる。表4-4にみられるように日本のサンプル河川の単純化・平滑化の平均値は95.16%、アメリカの平均値は98.73%と日本の方が2.57%ほど単純化の度合いが大きい。また、Standard deviation (標準偏差)の大きさから日本の方が単純化・平滑化の度合いの幅にばらつきがあることがわかる。それでは、統計学的にみてこの違いは顕著なものであろうか。予備テストと同様に帰無仮説(両国の一条河川の単純化・平滑化の度合いは同じ母集団からのサンプルである)と対抗仮説(違う母集団からのサンプルである)をz値から検討した(表4-4参照)。

7.37というz値は1.96である帰無仮説の採択域をはるかに上回り、日本とアメリカの一条河川の単純化・平滑化の度合いが同じ母集団からのサンプルである確率は1.28の10のマイナス12乗という大変小さなものである。よって、帰無仮説は否定され、両国の一条河川の単純化・平滑化の度合いは異なると判断された。日本のカルトグラファーは一条河川を単純化・平滑化する場合その度合いが大きく、アメリカのカルトグラファーはディテールをより残す傾向があるという違いがある。日本とアメリカにおいて1:50,000地形図をその二倍の縮尺の地形図から編集・総描する上で一条河川を単純化・平滑化する「適当」さの基準が違うということである。つまり、日本で用いられている1:50,000地形図の編集・総描の作業要領をアメリカの1:50,000地形図の編集作業に用いたとしたら、少なくとも一条河川の単純化・平滑化に関しては日本で「適当」と認識されている基準よりディテールを残しがちな結果になりやすいといえる。

表4-4 単純化・平滑化の比較の結果

国(サンプル数)	平均値	標準偏差	Z	P
日本(32)	95.16	2.540	7.37	1.28×10^{-12}
米国(32)	98.73	1.030		

5. まとめ

コンピューター技術の発達に伴い、従来の地図編集・総描作業を対話的にだけでなく自動的にに行わせる高度な Artificial Intelligence (人工知能)を持つ Knowledge-based systems を開発することが望まれている。そのためにはカルトグラファーの Knowledge 及び判断基準を客観的・数量的にルールセットとして表すことが必要といわれている。それならば個々の地図は総描の制御要因である地図の目的、縮尺、データの質によってそれぞれのルールのセットが必要になる。本研究は、総描の制御要因が同じであるならば異なる国、文化圏を超えた基本的な編集・総描のルールがあるのではないかとあるとしたらそれは何か一異なる国の作業要領上で同じような表現のルールは実際には地図上でどのように反映されているのだろうか—という大きな問題をふまえ、一条河川の単純化・平滑化の度合いを日本とアメリカの基図と編集図を比較として数値化し統計学的に比較した。その結果、比較しうる表現である作業要領上のルール、一条河川を単純化する度合いの最適値、は日本とアメリカでは違うという結論が導きだされた。この結果から導かれることは逆説めいているが日本とアメリカという異なる国で地図を編集・総描する上で大きな共通性—カルトグラファーの判断への依存—である。主観的判断を必要とする従来の地図編集・総描の判断基準の客観化の必要性が再確認された。そして、近年の地図の自動編集・総描へ向けての研究でそのルールの出所とされている地形図作業要領のある種の限界が見いだされた。しかしながら、なぜ日本の単純化の基準がより大きいという問題が残された訳だが、それを考察するのは異なる文化圏での地図の持つ意味、認識の違い等をふまえた上での認知地図学 (cognition of cartography) の分野の興味深い今後の課題となろう。

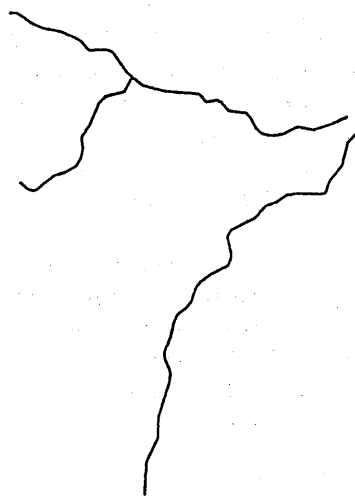
参考文献

- Buttenfield, B. P. and McMaster, R. B. (eds) (1991) *Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation*, Essex, England: Longman Science & Technical, p. 245.
- Buttenfield, B. P., Weber, C. R., Leither, M., Phelan, D., Rasmussen, D. M., and Wright, G. R. (1991) "How Dose Cartographic Object Behave? Computer Inventory of Topographic Maps," *Proceedings GIS/LIS 91*, Atlanta, Georgia: Vol. 2, pp. 891-900.

日本

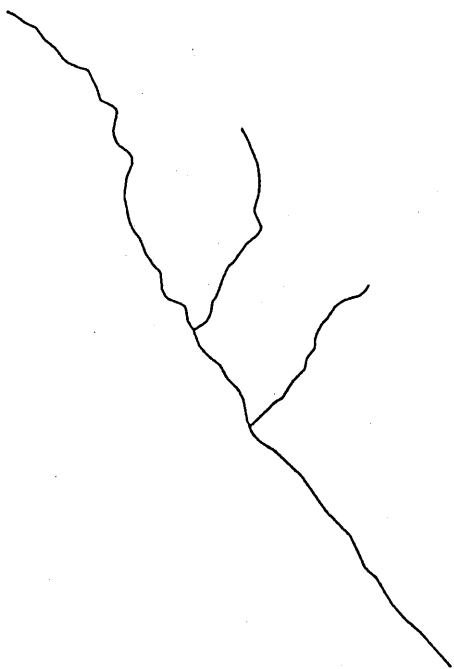


1 : 25,000

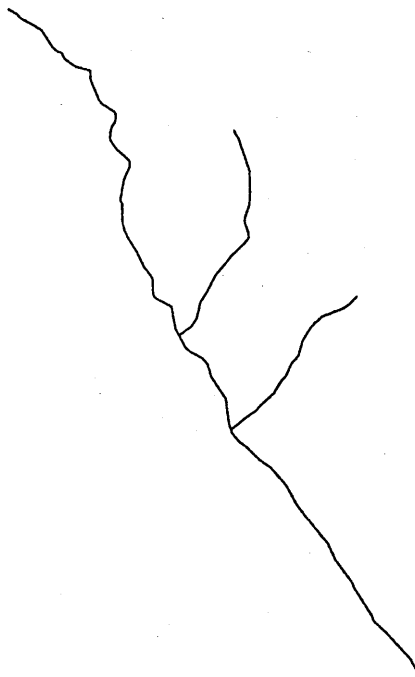


1 : 50,000

アメリカ



1 : 24,000



1 : 50,000

図4-5 デジタイジングされた1条河川

Cromley, R. G. (1992) *Digital Cartography*, Prentice Hall, New Jersey, p. 317.

Douglas, D. H. and Peucker, T. K. (1973) "Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or Its Caricature." *The Canadian Cartographer*, Vol. 10, pp. 112-122.

Freeman, H. (1978) "Shape Description via the Use of Critical Points," *Pattern Recognition*, Vol. 10, pp. 159-166.

Imhof, E. (1982) *Cartographic Relief Presentation*, Berlin, New York : Walter de Gruyter & Co. and (1965) *Kartographische Gelandedarstellung*, (original German language edition), Berlin, Germany, p. 389.

Jenks, G. F. (1981) "Lines, Computers, and Human

Frailties," *Annals of Association of American Geographers*, Vol. 71, No. 1, pp. 1-10.

Monmonier, M. (1991) *How to Lie with Maps*, Chicago : The University of Chicago Press, p. 176.

Tsukada, N. (1994) *Map Generalization : A study of the Rules of Generalization Applied to 1 : 50,000 Topographic Maps Currently Used in the U. S. A. and Japan*. Unpublished master's thesis, University of Maryland, College Park, p. 212.

Young, P. M. (1990) *Positional Deviation of Digitized Line Objects*. Unpublished master's thesis, University of Maryland, College Park, p. 154.

(株式会社東京地図研究社)