

論 說 報 告

土木學會誌 第十八卷第三號 昭和七年三月

地形表示法としての正形浮上り圖法

准 員 工 學 士 田 中 吉 郎

On the Orthographical Relief Method of Hill Delineation

By Tanaka-Kitirò, C. E., Assoc. Member.

内 容 梗 概

著者は在來の地形圖示の方法が觀者をして容易に地勢を了得せしめる方に缺くる事を、總ての方法に共通なる短所であるとし、此の點に對して一步を進める爲め著者の所謂自然的方法の根本に溯り、照明學の理論に基き地表面上の陰影の濃淡を一つの數式にて表はし、之れより定めたる陰影を更に圖上に正確に表示する方法を考究した。此の著者の創意に依る圖法は、數十年來行きつまりの感ある地形圖示の方法に對し、一新機軸を出し得たものと信ぜられる。

1. 緒 言

山野起伏の狀況を地形圖上に表示する方法は、現在では一と先づ等高線法に落著いたかの感がある。然し之れにも亦、不充分な點がないでもない。夫れは、此の法は固より符號を以て土地の高度を表はすことを規約したものであるから、地形の簡単な場合は別としても、其の複雑な處では、相當熟練した地圖使用者にとりても、圖上實際の狀況を腦裡に描き出すことは、誠に困難なのである。實に目的に依りては、地圖上あらゆる點の標高を知ることよりも、寧ろ地形の大勢を逆觀することに重きをおく場合も亦多いのである。之れ等の缺陷及び要求を滿す爲めかあらぬか、18世紀の末葉以來工夫せられた地形表示の方法は、實に80種を超えてゐるが、著者の觀る處に依れば、之れ等の方法は何れも其の創始者の主張する處に反し、徒らに承服し難い幾多のものを齎らすに過ぎない。而も之れ等の方法が依然として廣く行はれてゐるのは、世は、他にもつと適切なる圖法の案出を望んでゐるのではあるまいか。然り、此の要望は時と共に實に切なるものがあるのである。

元來、三次元たる地表の起伏を、歪曲なく之れを二次元たる紙上に圖示し、觀者をして恰も自然の山野を展望するの感を興さしめんとすることは、或は無理な要求であるかも知れぬ。

茲に、在來の圖法に飽き足らぬ人々は、望を嚴格なる意味に於ける地圖に絶つて、繪畫的表現に寄せんとさへしてゐる。近時我國に於ても屢々見受けられる案内用の鳥瞰圖は其の顯はれの一つであるが、斯かる通俗的の圖面はさておき、専門的方面に於ては、米國地理學會はバルカン諸邦等の鳥瞰圖を出版して大いに好評を博してゐる。又、地形學者はその研究に際して、盛に一種の鳥瞰圖たるブロック・ダイアグラムを用ひてゐる。有名な W. M. Davis 氏の著書などは、斯かる圖面を添附して如何ほど其の價値を高からしめてゐるか、測り知れないのである。之れ等學術的鳥瞰圖は複雑なる地形を透視圖法に依つて描くのであるから、その手数が甚だ面倒であることは、多少でも透視圖法を試みた人には容易に推察出来ることであらう。而も、斯くして得られたものは、もはや地圖ではなくて單なる説明圖に外ならない。然らば嚴密なる意味に於ける地圖に對し、地形を解かり易く圖示せんとする要求に應ずることは、之れまで信ぜられてゐた如くに、果して絶望なのであらうか、著者は未だ直ちに之れに同ずるの妄を敢てしたくないものである。

地形を圖示する方法は、著者は之れを符號的圖法と自然的圖法との二つに區別する。前者は符號を用ひて、地形を正確に圖示するに重きを置くもので、等高線 (contour)、段彩法 (layer system)、又は點高 (spot height) で、地面高を示した地圖、海圖など、之れに屬する。後者は、主として直觀的に地表の凹凸を會得せしめるために、重きを浮上りの効果に置くもので、暈渲法 (brush shading)、暈滌法 (haehuring) 等によるものが之れに屬する。在來の自然的圖法の結果が、觀者をして寧ろ失望せしめるものは、之れ等の圖法が地形の眞に迫りたる表示を主要目的とするに拘はらず、その立論が屢々自然の事實を度外視して、動もすれば符號的に傾きたるために、或は製圖の方法が甚しく困難なるか、又は製圖が目分量又は手加減によること多きためである。斯かる缺點を避け、著者は一つの自然的圖法を創案し、その特色とするところに基いて、之れを正形浮上り圖法と名附けた。

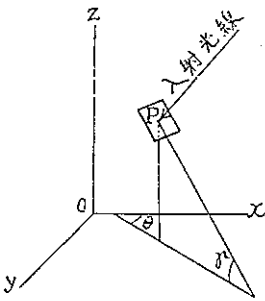
著者の此の圖法も亦他の自然的圖法と同じく、一種の陰影法であるが、著者は仕上げの圖面が眞に迫り且つ正確であるためには、其の基づく理論は一意に自然の事實を本とすべく、尙ほ製圖の方法も出來得る限り科學的たるべきものと信ずるから、此の方法に於て、著者は陰影の濃淡即ち輝度の分布を特に理論的に研究し、依つて之れを正確に圖示する方法を案出したのである。斯くして著者は、著者の方法は地形表示の自然的圖法としては、從來工夫された如何なるものよりも適切であり、尙ほ其の結果の有効であることを信ぜんと欲するものである。

2. 理論的考察^[1]

[1] 理論的考察に關しては、九州帝國大學工學部紀要第五卷第三號に詳記してゐる。

地表面の輝度を正確に定めることは、此の圖法に於て第一の問題である。地表の性状は實に多種多様である、従つて光線に對する其の反射率も亦一定しない譯である。然し地形を圖示する上に於ては、各地特有の斯かる條件を逐一考慮することは勞功相償はないことではなければならぬ。斯くて實用的には、地面は到る處反射率が一定で、且完全なる擴散性を持つ理想的性質のもので出来てゐることを假想するのが、最も合理的であらうと思はれる。此の假想の下に於て照明學的推論を進め、著者は次の法則を得た。即ち“地表を垂直に照下したとき感ぜられる任意地表微小面積の輝度は、其の面に對する光線の入射角の餘弦に比例する。”

此の圖法に於ては斜照を考へるのであるが、此處に求め得た輝度の法則を實際に適用するためには、更に具體的の算式を誘導しなければならない。



圖に於て、太陽の高度を 45 度とし、且光線は xz 平面に平行に照射するものと假定する。又微小面積 P の傾斜を γ 、傾斜の方向を θ で表せば、地表面中の最大輝度に對する此の微小面積の輝度 B に関し次式が得られる。

$$B = \frac{1}{\sqrt{2}} (\sin\gamma \cos\theta + \cos\gamma)$$

著者の寡聞なる未だ地圖作製の目的を以て、地表面上任意の傾斜及び方向を有する面の輝度を斯く整然たる算式により定め得たものを聞かない。

斯くして輝度は之れを定め得るとし、次は如何なる手段に依つて、正しく之れを圖面上に表示するか問題となる⁽¹⁾。之れに對し、著者は傾斜曲線なるものを案出した。此の傾斜曲線とは、普通用ひられる等高線（そは、茲に用ひんとする傾斜曲線に對して、水平曲線と呼ぶが寧ろ適當である）が地表とさる水平面との交りの線を基準面上に投影したものであるのに對して、地表とさる傾斜平面との交りの線を基準面上に投影したものを稱するのである。此の傾斜平面の傾斜は、さきに假定した太陽の高度に順應して、著者は之れをやはり 45 度に定める。等間隔に在る多數の傾斜平面によつて定められる、多數の斯の如き傾斜曲線を圖面上に描けば、之れ等の曲線は、地形の凹凸に應じて或は接近し、或は離隔して自然に一種の陰影を生ずるのである。

著者は、茲に此の多數傾斜曲線の太さを相當數式に依つて表はし、理想的表面の輝度の分布と地圖上の輝度の分布とを對應せしめる事を試みた。然し、そのためには、各微小面積の傾斜と、傾斜の方向とに従つて傾斜曲線の太さを夫々變化せしめなければならないから、製

(1) 在來の方法では、製圖の實施に支障なからしめるために、先づ此の第二の問題たる製圖方法を取扱ひ、第一の問題たる陰影の理論に對しては、概ね不完全或は明かに誤りたる推論を以て足れりとしてゐるかの如く思はれる。

圖は不可能でないまでも、甚しく煩雜になるのである。其處で著者は、簡單を旨とし、傾斜曲線の太さを一定することにした。斯く定めても、此の線の一定の太さを適當に選べば、輝度の分布には餘り影響を及ぼさないことを發見した。詳しく計算して見れば、理論値に最も近い輝度の分布を與へる處の傾斜曲線の一定の太さは $0.36 d$ であることが解かる。茲に、 d は水平なる土地に於ける傾斜曲線の距離で、之れを傾斜曲線の標準距離と名附けることにする。更に計算して見ると、今定めた値を用ひたときに、普通に遭遇する地形では、理想的表面に對する地圖面の輝度の誤差は、概ね 20% 以下に止まることが解かる。即ち著者の此の簡單法は、實用上正確と見做して差支へないのである。

此の方法で描いた地圖を見て氣のつく事は、傾斜曲線の形狀が地形の鳥瞰圖を暗示し、尙ほ又密接して殆ど平行に走る多數の曲線が、圖面に一種の活氣を與へることである。そして之れ等の事柄が、陰影の正確なる圖示と相待つて、浮上り感の効果を強めるのである。著者は従來の經驗に基づき、曲線の平均數は普通地圖上 1 糎につき 30~70 本が最も適してゐることを提案せんとするのである。こは、一方に、視覺の理論から推定したものと、略一致して居ることも解かる。

猶ほ一言したい事は、此の方法は所謂レリーフ・グラビア (relief gravure) とは異つてゐることである。レリーフ・グラビアに於ては、圖面の作製に際して金屬製の模型を要する點と、仕上げの圖が地表の高低に比例する水平の變位を含む點とに於て、之れを地形の圖示に應用することは實に不可能なのである。著者の正形浮上り圖法は勿論斯かる制限を少しも含んでいない。

3. 製圖の方法

寫眞 富士山及び箱根山と題する正形浮上り地圖に山り、此の圖法の製圖方法を述べることにする。最初に仕上げの寸法の 2~4 倍の水平曲線圖を作製する。此の水平曲線圖は正に茲に作らんとする正形浮上り地圖の基礎となるもので、後者は實に前者の圖上に直接記入されるのである。此の例では、我が陸地測量部 1/50 000、地形圖を本とし、之れを適當に一般化しつゝ縮圖し、縮尺 1/100 000、水平曲線間隔 60 米の水平曲線圖を作製した(附圖第二水平曲線圖は、斯くして作つたものを、寫眞に依つて更に 1/4 に縮寫したものである)。

次に圖廓の底邊に於て基準面と交り、且此の邊に向つて 45 度の傾斜をなす一つの傾斜平面を想像する。此の傾斜平面を表はす水平曲線は、圖廓の底邊に平行に走る一系の平行直線であつて、夫れ等の基準面上に於ける距離は、其の圖に對する水平曲線間隔に等しい筈である。此の例では、地表を表はす水平曲線の水平曲線間隔 60 米に順應して、之れ等平行直線の圖上の距離は之れを 0.6 糎に定めてある。此の距離は又傾斜曲線の標準距離に一致せしむ

べきものである。正形浮上り圖法に依る地圖は、實に之れ等二系の水平曲線、即ち今描きたる傾斜平面を表はす平行直線並にさきに描きたる地表面を表はす水平曲線に據つて作製せられるのであるから、之れ等平行直線も亦圖面の全面に互りて描くべきである。尙ほ之れ等兩系の水平曲線は、仕上げの地圖に表はすべきものでなく、且其の清繪は後に寫眞によりて仕上げの縮尺に縮寫すべきものであるから、青又は淡紅の如き寫眞原板に顯はれない色で描くべきものである。

斯く傾斜曲線を描く準備を了し、愈々之れを描くことが出来る。

前記二系の水平曲線の中、等しい高さを有するものゝ交點を、順々に鉛筆線を以て連結すれば、此處に1本の傾斜曲線が得られる。さて、前記の平行直線は單に一つの傾斜平面を圖上に表はすのみでなく、各直線を夫々其の屬する傾斜平面の最低の水平曲線と考へるときは、等間隔にあつて互に平行せる多數の傾斜平面をも表はしてゐることになる。従つて、前と同様の方法に依つて、一つの平行直線に就き、1本の傾斜曲線が得られる譯である。斯くして出來た鉛筆線の上に、製圖用ペンを用ひて黒色に墨入をなす。墨線の太さは、理論的考察に依つて定めたとこに從ひ、一般に之れを $0.36d$ なる一定値に保つべきものである。此の例では、傾斜曲線の標準距離 d は 0.6 耗であるから、線の太さは 0.22 耗となる。尙ほ其の他の細部を記入して清繪を完成し、寫眞に依り之れを仕上げの寸法に縮寫する（此の例では $1/4$ に縮寫してある）。然る後、之れを適當の方法で印刷して仕上げの地圖を得るのである。此の製圖の方法では、上に述べたことから知られる如く、別に何等の明暗尺、色度尺を要せず、猶ほ又其處に何等製圖家の目分量が加味されてゐない。従つて作業が簡單且つ正確である。之れに就ては次の事柄を見れば思半ばに過ぎるであらう。此の方法に於ては、製圖の一操作につき單に一つの條件を満足せしむればよいのである。例へば、豫め確實に決定せる諸點を通り、初めに鉛筆を以て傾斜曲線の單に位置のみを定むれば足り、次にペンを用ひて此の鉛筆線を進る際には、單に線の太さを一定に保つことのみ注意到すれば足るのである。在來の自然的圖法に於ては、仕事は此の様に簡單にも、亦正確にもゆかない。例へば量滲法では、一筆を下す毎に、量滲の間隔、方向、長さ及び太きの4件を同時に而も一々明暗尺を参照しながら考慮しなければならぬのである。

之れを要するに、著者の圖法は其の理論は嚴正であり、其の製圖法は科學的にして且つ容易であり、其處に少しの曖昧も許されてゐない。されば、其の結果は常に一定であり、従つて地貌の表示は正確に出来ることになる。表現の正確なことは、此の圖を其の基礎たる水平曲線圖と比較して見れば、直ぐに解かることである。

4. 正形浮上り地圖と其の地形學的表現能力と¹⁾

一地域の地形圖に於ては、其の地域に固有な地質學的又は地形學的特徴が其の上に正しく表現せられることが、甚だ必要であることは言ふまでもない。而して次に述べる如く、著者の此の圖法に依る地圖は甚だよく此の要求に應じてゐるのである。

寫真正形浮上り地圖の占める地域(附圖第一参照)は丁度、我國本州の中央を北北西より南南東に走る龜裂、Edmund Naumann の所謂大地裂帶 (fossa magna) の上に當つてゐる。此の地域は幾度かの地質學的變動を受けた後、第三紀の末葉にあたり、隆起して陸地となつたのである。南方の火山愛鷹山は其の頃の噴出に由るものである。第三紀の末又は第四紀の初めに、中央の部分即ち現在富士火山の占める部分は陥落し、同時に其の西、北及び北東に山脈を残した。之れが現在の富士山の所謂偽外輪山である。南東の火山箱根山は其の頃の噴出によるものである。最後に火山富士山が噴出し、其の活動は歴史時代にまで及んでゐる。

之れ等地質學的歴史を傍らに、此の地域の地形學的研究を進むるとき、而して之れを正形浮上り地圖上に點検するとき、其處に興味の津々たるものがある。

愛鷹山は古い火山であるから甚しく削磨を受けて、今や滿壯年期に達してゐる。其の輻射谷は大いに發達して深く蝕刻し、其の中南西に走る一谷は舊火口に源を發した形跡がある。主として第三紀水成層から成る富士山の偽外輪山は、己に長期の浸蝕作用を蒙つてゐるから、壯年的に開析せられ、谷の派生は複雑になり又山骨は稜々たるものがある。圖の西端を南北に走る富士川の谷は浸蝕谷で、此の谷に沿ふて道路及び鐵道が設けられ交通の便を與へてゐる。山中湖から斜に附圖第一の北東隅に走る大なる溪谷は斷層谷である。此の外、偽外輪山中の諸谷は地質構造線の走向に一致して、地域の西縁に於て南乃至北、北縁に於ては西南西乃至東北東、東北部に於ては南西乃至北東又は東乃至西に走る傾向を有する。カルデラをなす箱根山は元來アスピーテであると想像せられるが、今や壯年的に開析せられて其の輻射谷も相當に發達してゐる。富士山は幼年期にある標式的なコニードであつて、山腹には今尚ほ殆ど輻射谷が認められない。山の形は對數曲線狀を呈し、其の典雅なる形狀は實に世界的の讚美を享けてゐる。頂上には比較的小なる圓形の噴火口が残存し、尚ほ南東に接近して寶永山の爆烈火口がある。山腹には多數の寄生火山が散在してゐる。北西の裾野にある大室山は

¹⁾ 地形學的敘述に關しては特に下記の諸書に據る處が多い、茲に記して謝意を表したいと思ふ。

石原初太郎氏著“富士山の地理と地質”，香川幹一氏著“地形學原論”，神原信一氏著“富士山の地質と水理”，工藤暢須氏著“日本地理概説”，辻村太郎氏著“地形學”，矢部長克氏及び青木廉一氏共著“大正十二年九月一日の關東大震と地質構造との關係”，Shimizu Saburô, Geotectonic Map of the Meizcseismal Area of the Great Kwantô Earthquake of September 1, 1923.

其の中の最大なるものである。本栖湖乃至山中湖の富士五湖は實に富士山噴火のために生じた瀦水であつて、其の中の或るものは歴史時代に於て熔岩のために互に隔離せられたものである。湖水地方の水はもと南流して駿河灣に注いだものであるが、其の後火山作用のために截頭せられて、今では偽外輪山の溪谷を傳つて北東に流れ去り、原の河流は富士山の西麓、偽外輪山の近くに其の名残を止めてゐる。

之れ等の地形學的特徴は、此の圖に於て殊に判り易く表現せられてゐることに注意すべきである。實に此の點に於ては、著者の此の圖は、特に地形學の説明のために描かれた鳥瞰圖或はブロック・ダイアグラムに匹敵して、餘りあるやうに思はれる⁽¹⁾。

5. 結 論

正形浮上り圖法の特徴として擧ぐべきは、

(1) 其の地圖は觀者をして恰も模型に對して感ずるが如き著しき浮上りの感を興さしめ、由つて地形の大勢は言はずも哉、其の細部に至るまで、夫れが如何に複雑なる地形なりとも、之れを一瞥の下に瞭然たらしめる。即ち符號的地圖が其の地圖を觀者の理性に訴へて判斷せしめるに對して、此の圖法では其の直覺に依つて其の圖面を了得せしめるのである。

(2) 其の地圖は、表現の緻密且正確なる點に於て、優に水平曲線圖に匹敵する。蓋し、是亦一種の曲線圖たるに外ならないからなのである。

(3) 製圖法は簡單、且科學的で其處に些かの曖昧を許さない。

此の圖法の不充分なる點は、

(i) 總ての自然的圖法に見るが如く、此の圖法も其の上に地面の數字的高さを判明させることは困難である。之れ等の圖法の主なる目的とする處に順ひ、地圖上地形の大勢を通觀することに重きを置く場合には、此の事は毫も支障を來さない。固より、地面のあらゆる點の數字の高さをも併せ知り得ることは望ましいところであるが、表現の簡明は遂に科學的要求を全部容れることを許さないやうに思はれる。高きに登り試みに眼を放つとき、遠山、近水、明かなるもの、幽かなるもの、一々其の標高を明示せざる處、却つて之れ簡明直截に我眸に映じ來るのではあるまいか。況して、著者の圖面も定規と兩脚器とを使用するの勞を厭はないならば、任意地點の標高を一定の尺度上に読み取り得ること、猶ほ兩脚器を使用して水平距離を尺度上に読み取り得るが如くである。故に廣く夫々の目的を達し得て、實用上遺憾な

⁽¹⁾ 例へば下記の諸圖を参照せられたい。

Davis, W. M., Atlas for Practical Exercises in Physical Geography. 1908, 此の書の plate 18, Fig. 3 はその地形が丁度寫眞正形浮上り地圖に相當する。

Lobeck, A. K., Block Diagrams. 1924, Fig. 128 及び Fig. 229.

いものと思はれる。

(ii) 圖面が地圖として、動もすれば黒きに失する。地形の表示を詳密ならしめるに従ひ、記入も亦多くなることは、總ての圖法で免れ難いことなのである。然し、之れも亦傾斜曲線を色刷として、多少緩和することが出来る。

以上を總括して、此の圖法は地形學者、公園技術者等の科學者、技術者に對して多大の便益を提供するものであることを、著者は敢て言はんと欲する。尙ほ、比較的小縮尺の一般地圖、任意縮尺の案内圖などにも亦極めて適當であることは著者の信ぜんと欲するところである。

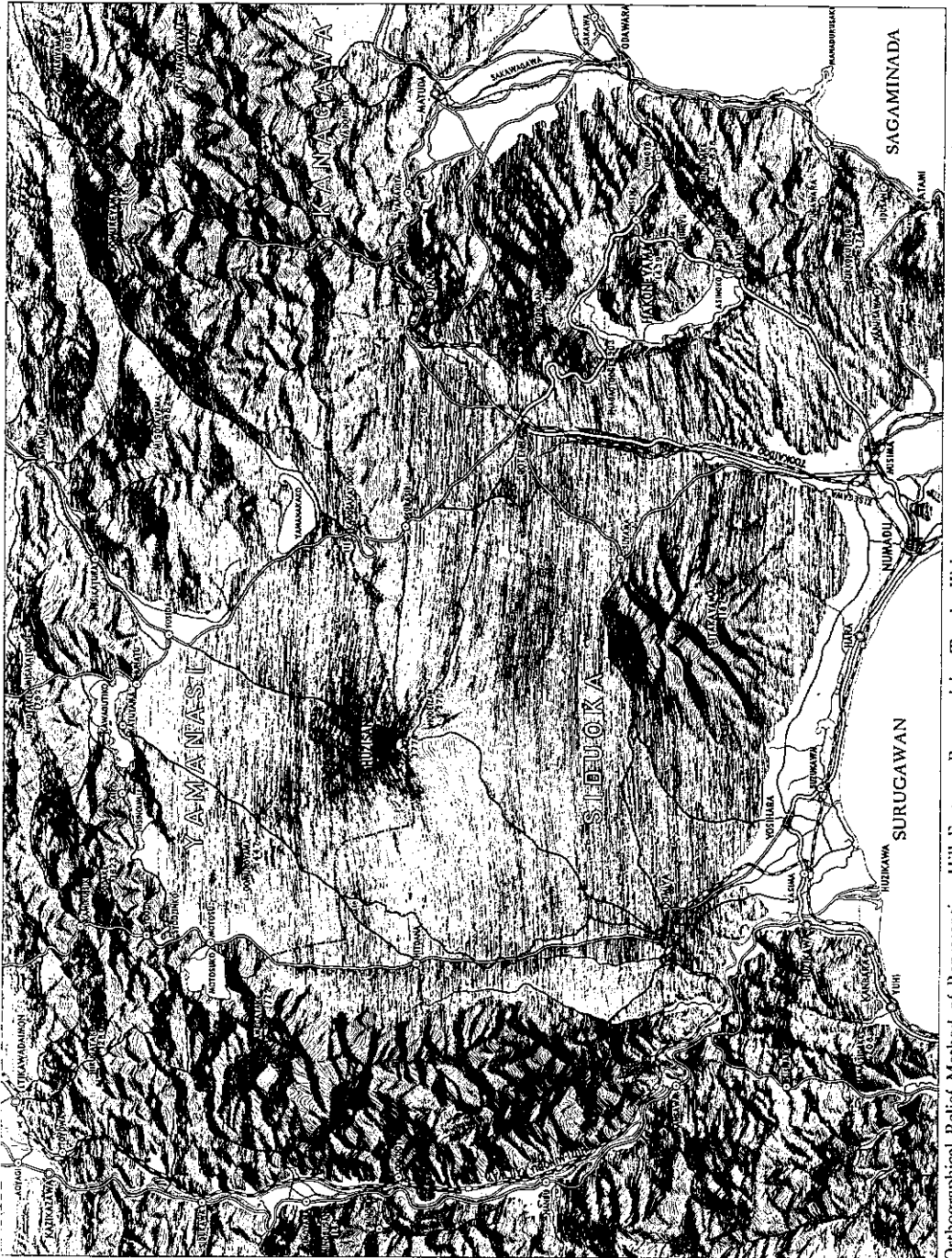
附記 昭和5年11月陸軍特別大演習に際し、參謀本部に於て、大演習地域一般圖に本圖法を採用せられたることは著者の光榮とするところである。

本文地質、地形に關する叙述に就て、九州帝國大學教授山根新次博士の御助言を得たことは著者の感謝措く能はざるところである。猶ほ寫眞正形浮上り地圖は九州帝國大學囑託横山正三氏の製圖に係る。同氏の熱誠なる努力と、優秀なる技倆に對して著者は茲に深く感謝の意を表す。又、此の地圖を特に寫眞印畫を以て掲載することを許容せられたる土木學會の御好意に對し厚く御禮申上げたい。最後に此の地圖を寫眞印畫を以て出版せんとする新らしき試みに對し採算を度外視して義侠的にその焼付を引受けられたる東京ジーチーサン商會主山崎祥玉氏に謝意を表するとともに、此の試みを魁として近き將來に於て、精密なる圖面の出版に、印刷に代ふるに寫眞印畫を以てすることの實用化されんとしつゝあることを指摘して置きたい。

(完)

寫真 富士山及び箱根山

Scale 1:400,000

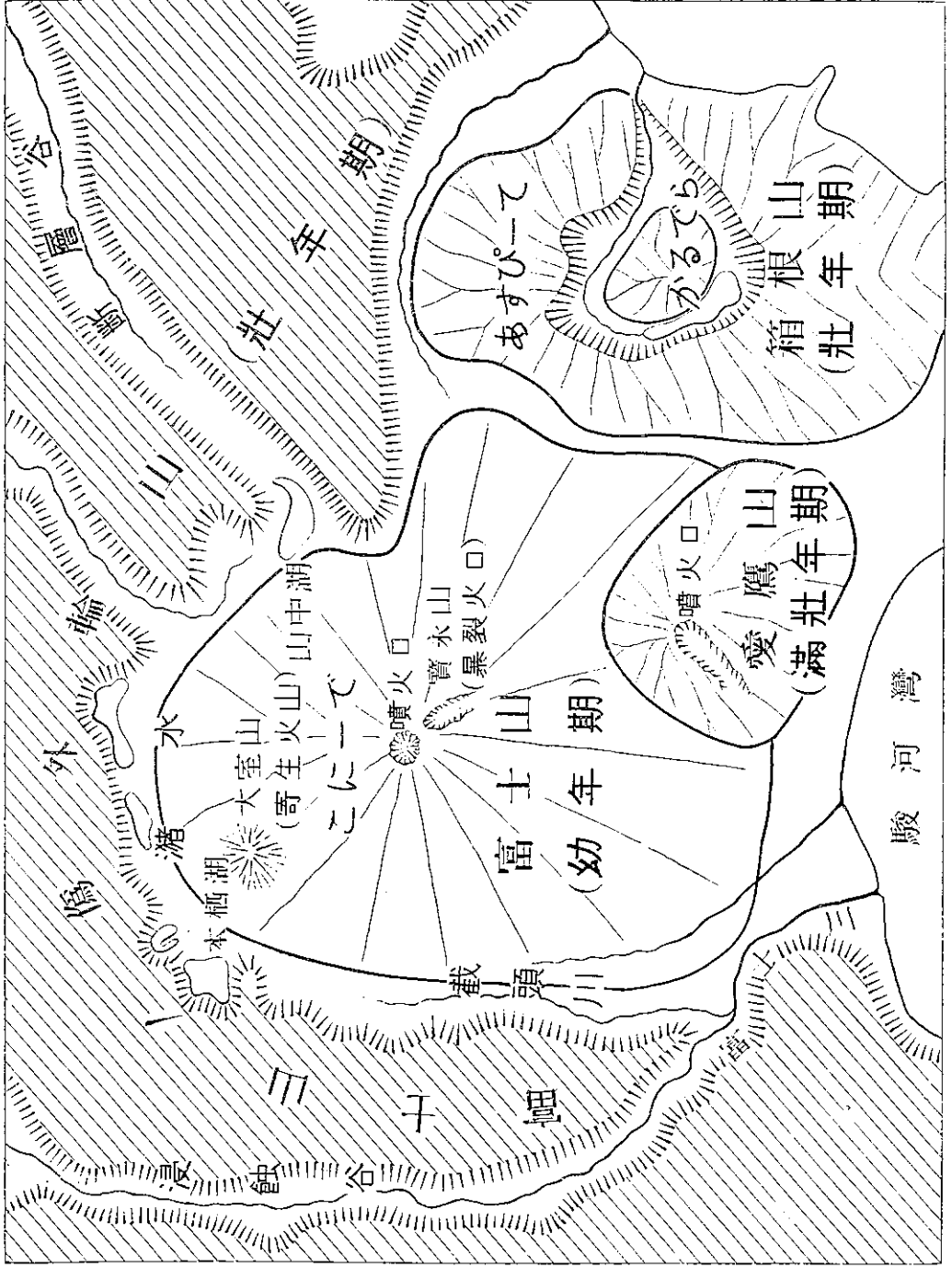


(土木學會誌第十八卷第三號寫真)

Orthographical Relief Method of Representing Hill Features Proposed by Tanaka-Kitiro.

Drawn by Yokoyama-Syūei, R.I.L.
Printed by U. T. Sen Co., Tokyo.

附圖第一 地形學的說明圖



此の圖に記載した地形學範圍の各時期に順應する開折の程度、各種火山の形態、各外輪山の形及び本文に詳記した地形學上の特徴は露真正形學上り地圖に極めて明瞭に表示せられてゐる。

附圖第二 水平曲線圖

139° 12'

138° 25'



35° 34'

35° 05'

Contour Lines at 60 Metre V. I.

此の水平曲線圖は眞正形浮上り地圖の基礎となるものである。

Scale 1:400,000

35° 05'

139° 12'