

三角点の基礎知識

三角測量とはなに？

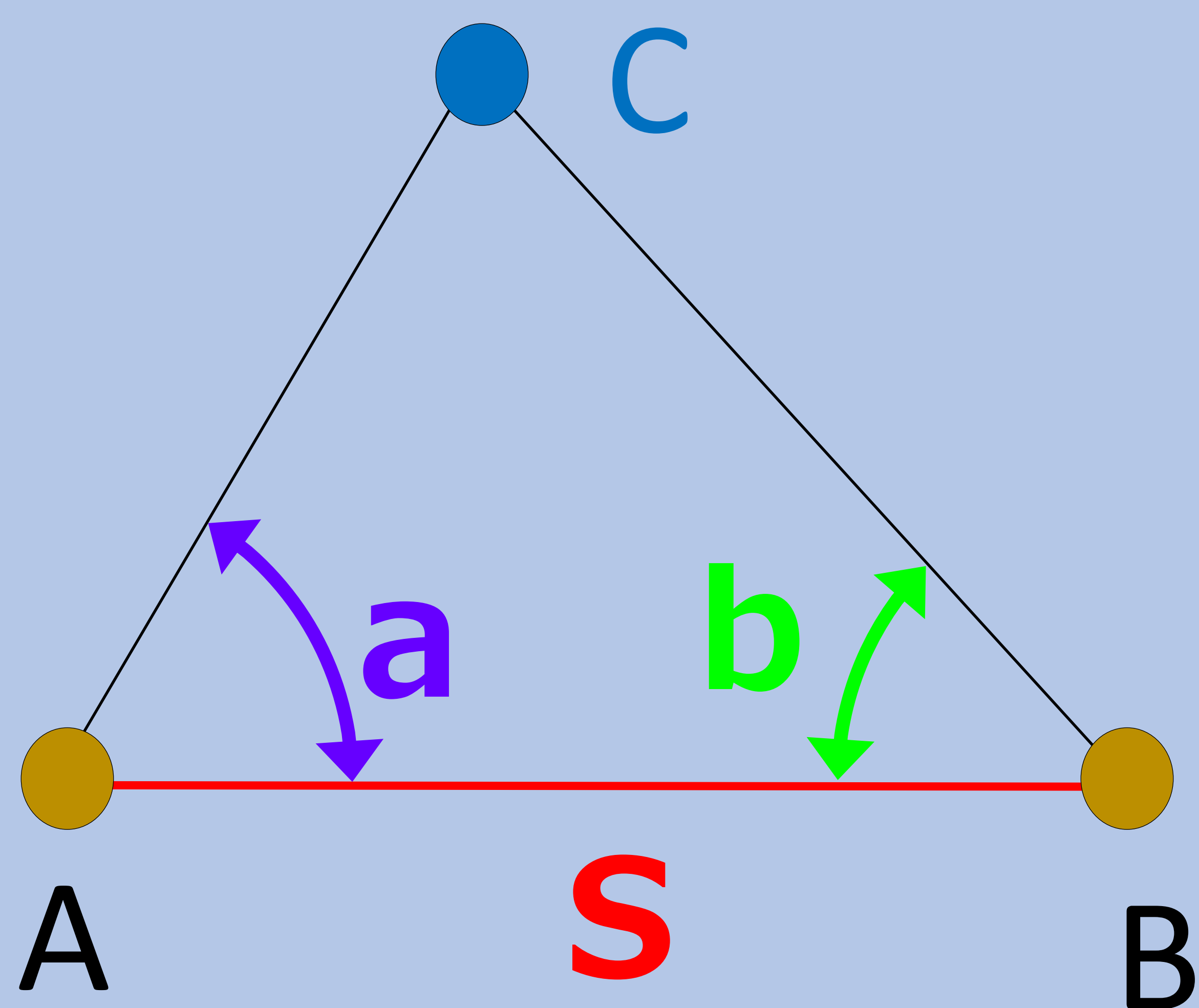
三角測量とは、三角形の一辺と両端の内角から新たな点の位置を求める原理(三角法)に基づいた測量方法です。

三角形の一辺(A、B間の距離 S)と、この辺の両端に位置する内角(a 及び b)が与えられればCの位置を求めることが出来るという原理(三角法)に基づいた測量方法です。三角測量では、その内角(a 及び b)を測ります。一等三角網の場合、距離(S)は約45kmあり、その長さを直接観測することは不可能であることから、一定の長さ「**基線**」を正確に測って、その基線をもとに計算によって一辺の長さを算出しました。(下図参照)

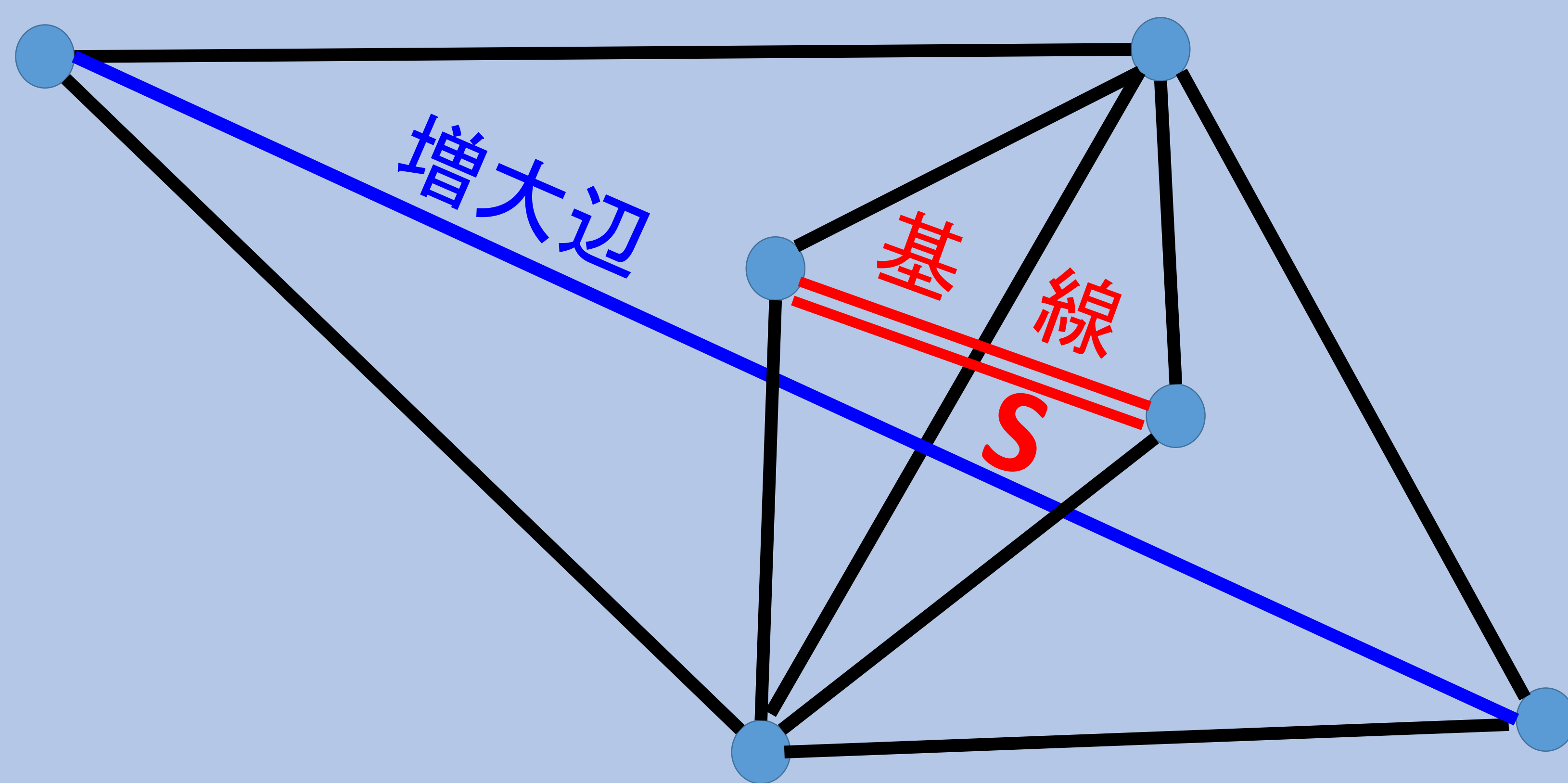
三角測量は、正確な長さが測定された基線を設けることから始まります。基線は3kmから10kmという直線と平坦な地域が確保できるところを選び、4mから25mの伸縮の少ない正確な物差し(基線尺)を使用して、その長さを慎重に測りました。

特に温度による伸縮を少なくするため、明治末期までは氷漬けにして温度を0度に保った基線尺を使用したといわれます。

このような条件を満たす「基線場」は、明治15年(1882年)設置の相模野基線(神奈川県相模原市ほか)をはじめ、大正2年(1913年)設置の択捉(えとろふ)基線まで計15箇所を設置されました。



三角測量の原理



基線と三角測量の関係

一等三角測量とは？1

地図を作るときに必ず必要な三角点

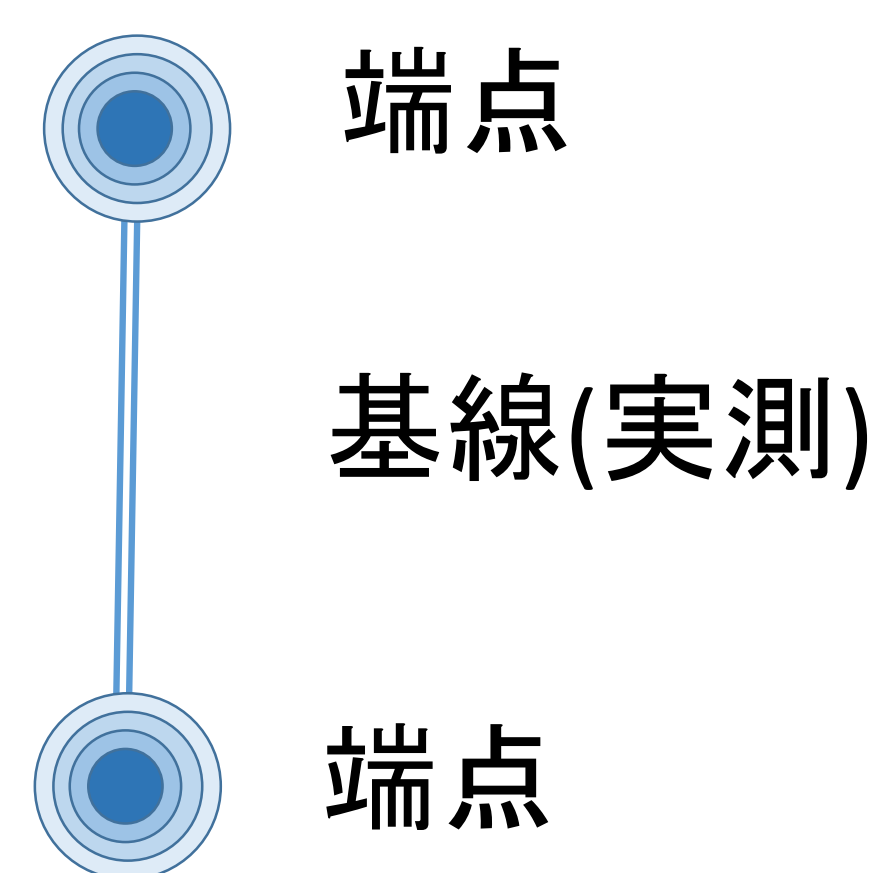
地図を作成する場合には、空から写真を撮り、写真から地図を描きます。また、地上で巻き尺などを使用して距離を測り地図を描くこともあるでしょう。しかし、この地図には、絶対位置（地球上の位置を一点に決める事）となる点がなく、ゆがみが発生してしまいます。三角点は、地図と絶対位置を結びつけることによって、ゆがみが解消され、正確な地図を作成することができます。

明治時代の三角測量

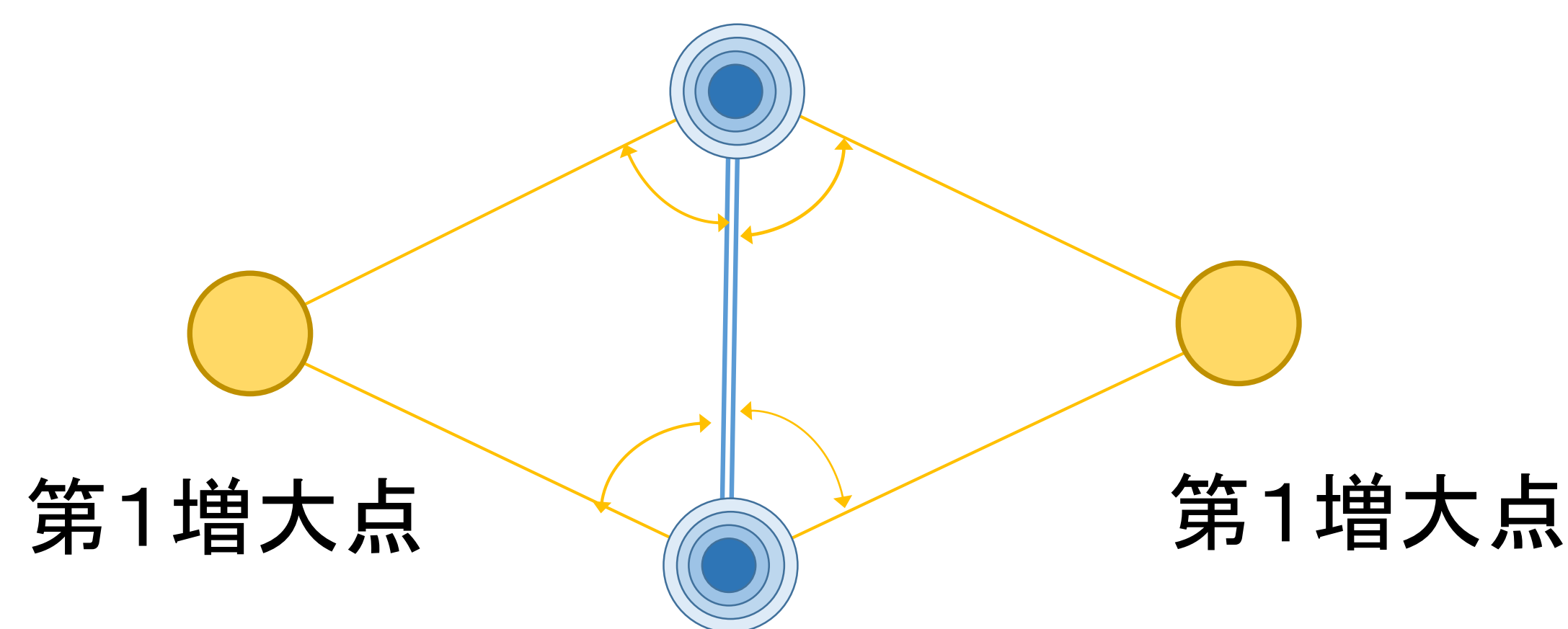
明治時代に距離を正確に測る方法は「ものさし」しかありませんでした。3km～10km離れた平坦な場所にある2点間の距離を正確に測り、もう1点を加えて三角形を作り、三角形の内角を測ります。この1辺と内角から三角形の大きさと形を計算で求めます。さらに点を増やして三角形の内角を測ります。こうして三角形の網を作り、三角形の各点の位置を求めていくのが三角測量です。

三角測量の概念図

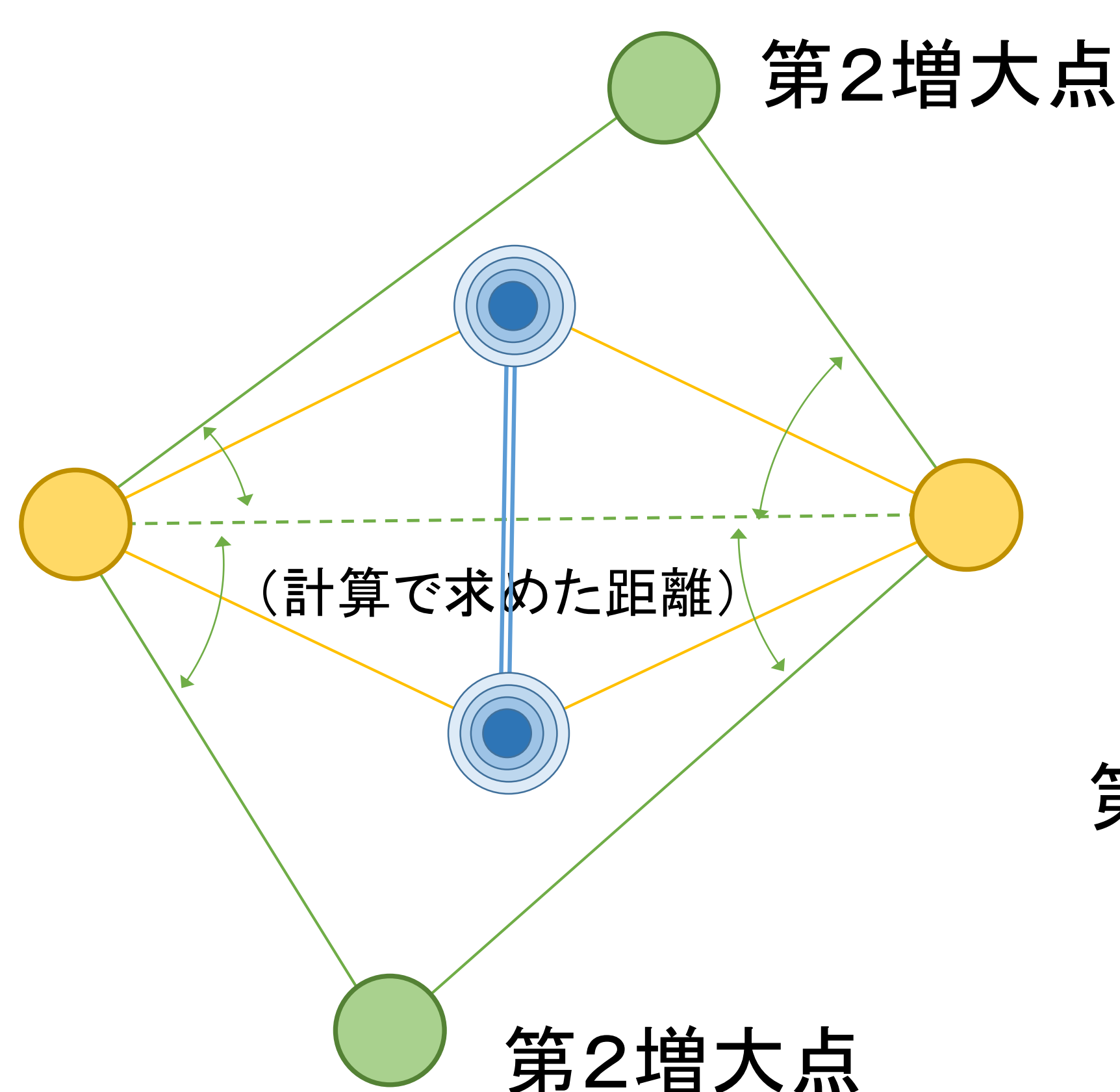
①基線測量(距離測定)



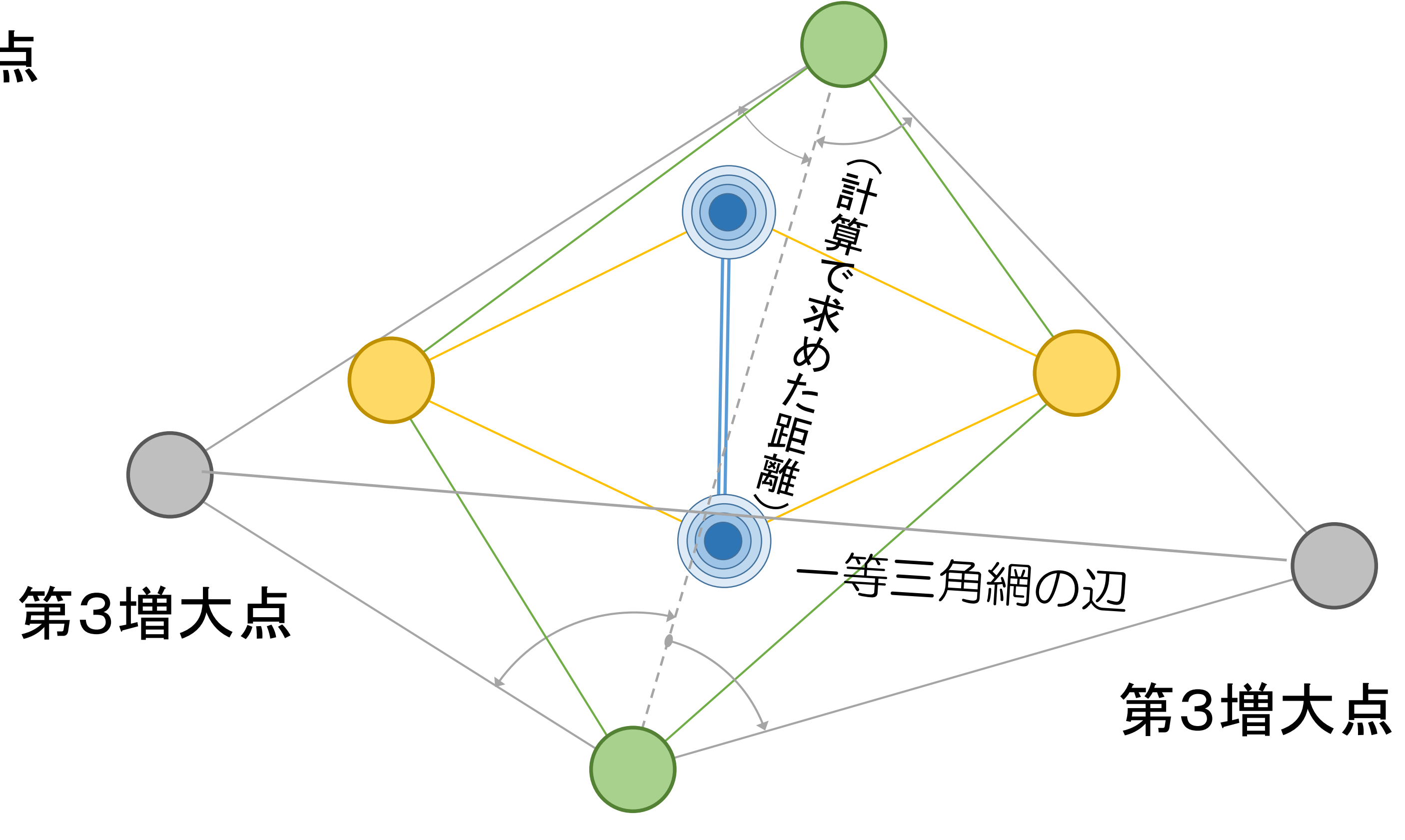
②第1増大点の設置(角観測)



③第2増大点の設置(角観測)



④第3増大点の設置(角観測)



一等三角測量とは？2

選点とはなに？

三角測量は、測量に適した場所を探すことから始まります(選点)。遠くが見通せて、他の二点からからもよく見えて、転落等の危険が無い、安全に仕事ができる地点に決めなくてははいけません。したがって、必ずしも山の最高地点とは限りません。

富士山の山頂に一等三角点がないのは、周辺の一等三角点より極端に高く水平角の測量で高低差による誤差が多くなることや、当時、測量器材や人員の移動、長期滞在が難しいというような理由があります。

一等三角測量とはなに？

一等三角測量は、日本全国の地形図(国土の基本図)を作成することを目的として始められました。

基線の正確な長さと同端での角の観測をもとに、次第に順次大きな三角形を作り、約45kmほどの間隔で全国をおおう三角点を設置します。

これが一等三角点(一等三角本点)と呼ばれるものです(一般には、その後25km間隔の密度になるように設置された一等三角補点を含んで、一等三角点と呼ぶことが多い)。

その後、二等、三等と順次高密度に三角点を設置して、地形図の作成が始まります。



三角点標石



一等三角網図

一等三角測量とは？3

一等三角測量の歴史は

日本の近代測量の基本となった三角測量は、工部省測量司が明治5年にイギリス人 マックウエンの指導のもとで、東京府下に13点の三角点を設置したことに始まります。

その後、明治8、9年には、開拓使が米人ワットソン、デイの指導により、北海道の南部と中央地域を中心に約50点の観測を実施しました。続いて、明治7年内務省地理寮が、前記測量司の仕事を引き継ぎ、明治8年に関八州大三角測量として測量を開始し、その後全国測量と改称して全国の国境の測量を始めました。

明治15年には、この三角点の選点 100点が終了し、明治17年からは陸軍参謀本部測量局がこの測量を引き継ぎ、いよいよ全国的な三角測量が始まりました。

一等三角測量は、大正2年にはひととおりの観測が終了し、一応の完成を見ました。その後、千島や、樺太、台湾の測量が行われました。



当時の三角測量実施風景



一等三角点「鹿野山」
明治16年の標石

明治の測量作業規程

三角測量法式草案

陸地測量部が作成した草案には、三角測量に関する方法等が規定されている。

1. 基線測量

基線測量は、第1編に記載されており、その要旨には「三角測量は、三角形の1辺及び2角を概知することを原則とする。」として、「一等三角点の1辺は、45キロメートルの直線とするが、現実的ではないので、3ないし8キロメートルの直線を測定して1辺として三角形をつくって、それを拡張して行きなさい。」と規定されています。

2. 一等三角選点

一等三角点の選点は、第2編に記載されており、その要旨には「測量に当たっての最初の作業である。三角点の造標・観測に先立って行いなさい。（本文中は「先立つこと若干年」と記載されています。）」と規定されています。

3. 一等三角造標

一等三角点の造標は、第3編に記載されており、その要旨には「観測に当たっての注意点として、観測機器を地上より高めに設置しなさい。その理由は、回照器の光の屈折や、水蒸気の影響が、観測の誤差を生じさせる恐れがあります。また、観測する櫓は、その後の二等や三等の三角測量に使用するため、少なくとも6年以上保存できるように、堅固に作りなさい。」と規定されています。（本文には「外観より寧ろ堅固を主とし、なるべく腐朽しやすい木材を避けよ。」と書いてあります。

4. 一等三角測量

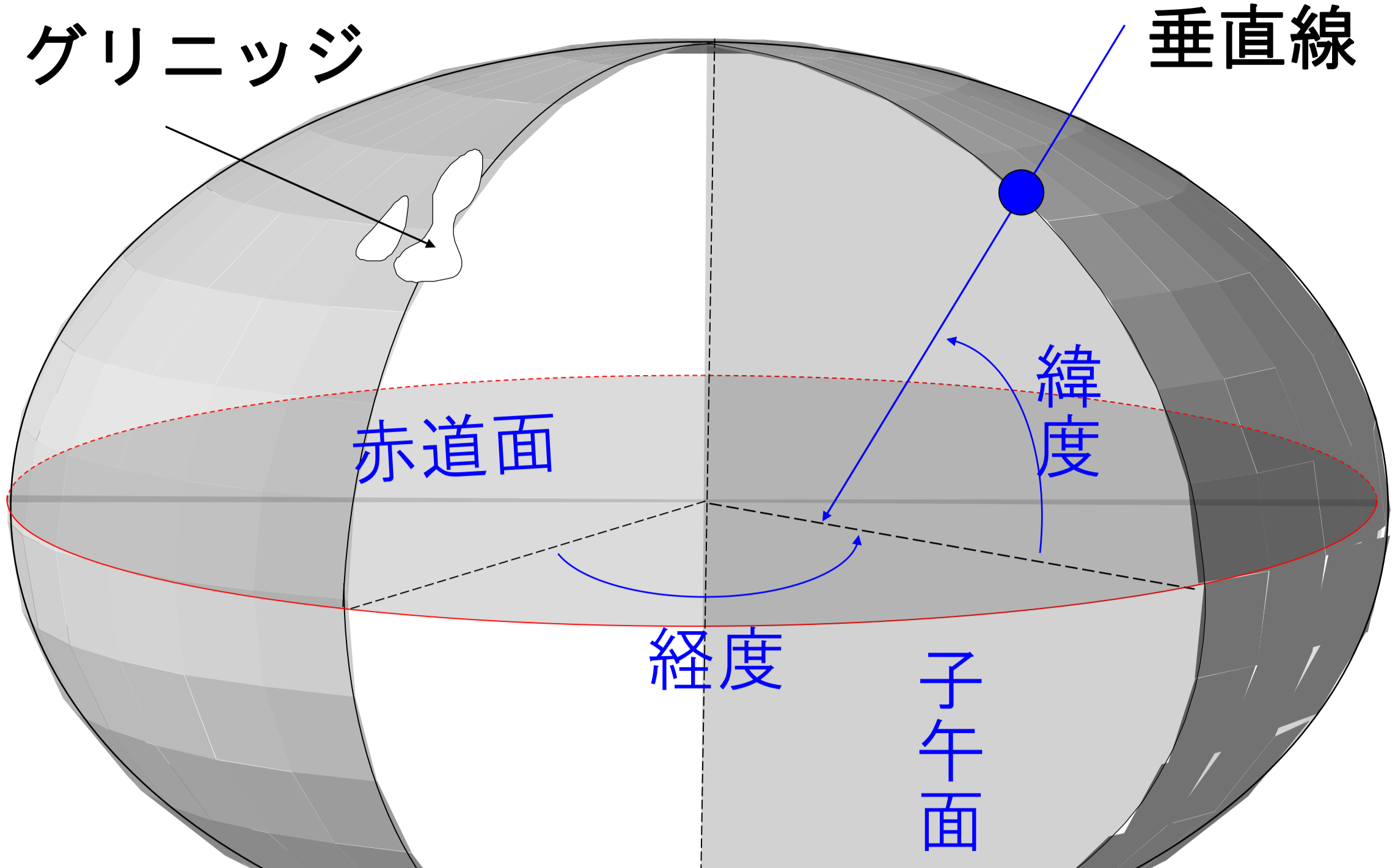
一等三角点の測量は、第4編に記載されており、観測法と計算式に分かれています。計算式の章では、原点を東京天文台の子午環の中心となっており、現在の経緯度原点と変わっていません。（経緯度の数値は、現在のものとは違っています。）

第一編 基線測量
第一章 基線測量ノ要旨及所用ノ器械
第一款 基線測量ノ要旨
三角測量ハ地上ニ許多ノ三角點ヲ設クルモ、ニシテ其位置ハ角ノ観測ニ由テ定マルト雖モ其相互ノ距離ハ三角學ノ原理ニ基テ之ヲ算定ス乃チ三角形ノ1邊及
二角ヲ既知スルトキハ他ノ諸件ヲ算知シ得ヘシトノ原則ニ由ルモノトス故ニ少
クモ一個ノ已知邊ヲ有セサル可ラス是ヲ以テ先ツ平坦堅牢ノ地ヲ撰テ其長程ヲ
實測シ以テ之ニ適用スルヲ要ス然ルニ一等三角ノ1邊ハ平均四十五吉米ノ直線
ニシテ斯ノ如キ長距離ノ地ヲ實測スルコト殆ト望ムヘカラス故ニ通常三乃至八
吉米ノ直線ヲ測定シ之ヲ既知ノ1邊トシテ三角形ヲ作り諸角ヲ観測シテ他ノ邊
長ヲ算定シ次ニ其一邊ヲ基線トシテ他ノ三角形ヲ作り漸次擴張シテ遂ニ一等三
角形ノ邊長ニ達セシムルモノトス

第二編 一等三角撰點
第五章 撰點ノ要旨作業ノ準備及器械
第一款 撰點ノ要旨
撰點ハ陸地ノ廣袤ヲ測定スル第一着ノ作業ニシテ即チ諸測量ノ基準點トナルヘ
キ三角點ヲ規定ノ法則ニ據リ撰定スルニ在リ故ニ一等三角ノ撰點ハ同造標ニ又
造標ハ同観測ニ先タツコト若干年一於テ之ヲ施行スルヲ要ス何トナレハ此作業
ハ皆實施上困難ナルト又其實施ニ當リ夥多ノ日子ヲ要スルヲ以テナリ

第三編 一等三角造標
第八章 規標
第一款 造標ノ要旨
一等三角點ノ撰定ニ在テハ單ニ假杭ヲ以テ其點ヲ地上ニ標識スル耳ナレハ角度
観測ノ際ニ際等諸點ヲ遠地ヨリ相互ニ望見シ能ハサルヤ論ヲ俟タヌ又回照器ヲ用
フルモ其視準線地面ニ接スレハ種々不規則ナル折光差或ハ蒸發氣ノ爲メニ此線
ヲシテ幾分ノ偏差ヲ生セシムルノ恐れアリ故ニ測器ハ地上若干米ヲ高メ且望
シ易カラシムルノ必要ヲ生ス之カ爲メ一般ニ木材ヲ結合シテ遠地ヨリ望見シ得
可キ目標トナリ且ツ器械ヲ据付ケ得可キ標識ヲ構造ス之ヲ稱シテ規標ト云フ
一等三角點ノ規標ハ観測完成後尙二三等三角測量ニ使用スル者ナレハ少クモ六
ケ年間保存セシムルノ準備ナカル可ラス故ニ其外観ヨリモ寧ろ堅牢ヲ主トシ
成ル可ク腐朽シ易キ木材ヲ避ケ努メテ實用ニ適スルヲ良トス

日本経緯度原点(明治25年(1892)～)



緯度と経度

- * 日本語の“経”は織物の縦糸、“緯”は横糸を意味します。
- ◆ ある地点の垂直線の方が赤道面と交わる角度を緯度と言います。
- ◆ 地球上の1点を通り、かつ北極と南極を通るように切った子午面とグリニッジ天文台(英国)を通る子午面のなす角度を経度と言います。

*グリニッジ天文台の位置は、明治25年当時です。

一般に地球上の位置を表示するには、統一のとれた位置情報とするために、地球の形を良く近似している楕円体(準拠楕円体)上の緯度・経度で表します。日本経緯度原点は、世界で共通に利用できる位置の基準系である世界測地系に基づき、我が国の位置を表す基準です。

[日本経緯度原点の位置]

- ◎ 経度：東経 $139^{\circ} 44' 28.8869''$
- ◎ 緯度：北緯 $35^{\circ} 39' 29.1572''$
- ◎ 原点方位角： $32^{\circ} 20' 46.209''$
(つくば超長基線電波干渉計観測点方向)

原点方位角

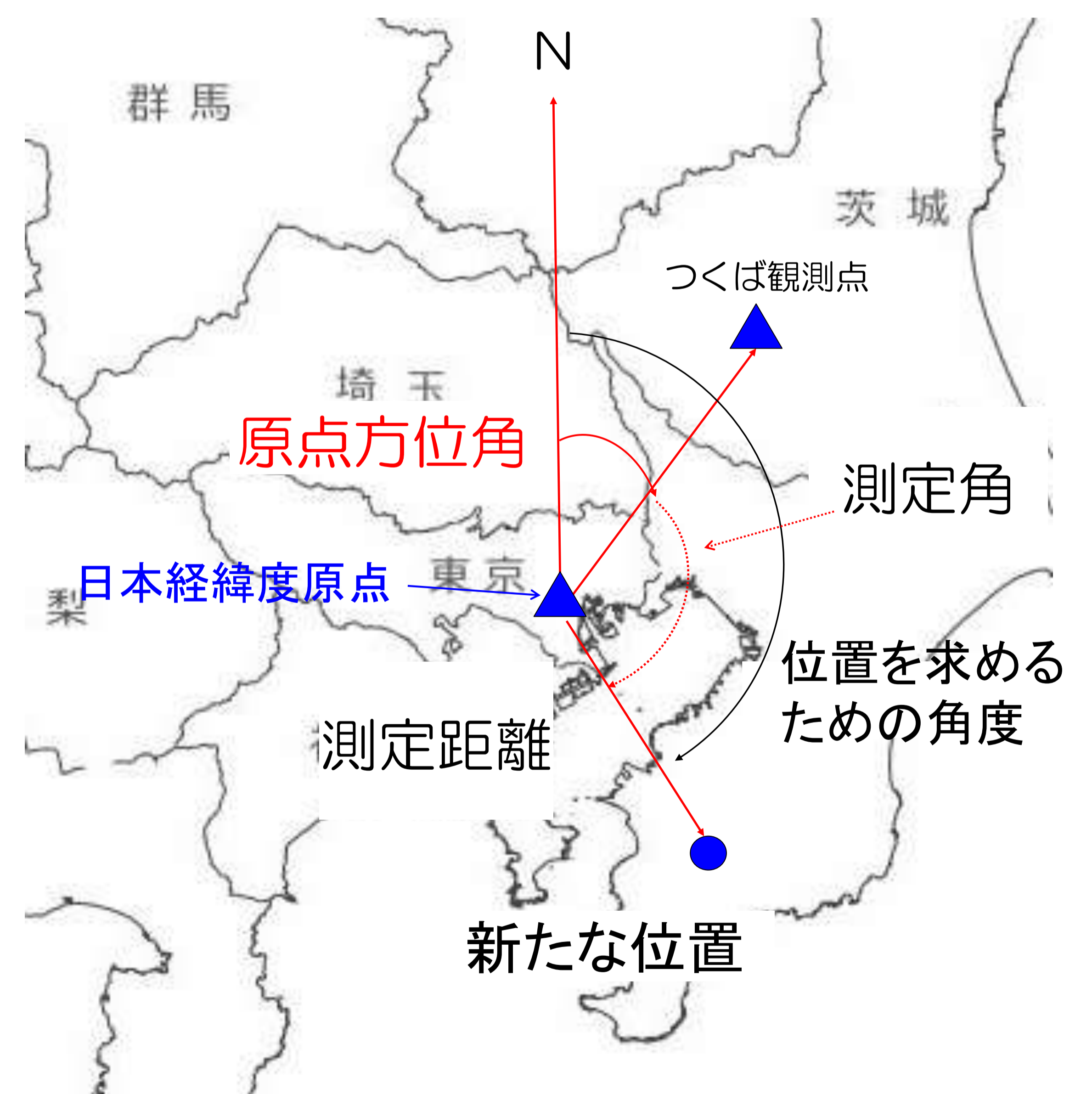
日本経緯度原点を基準として各地点の位置を表すために必要な基準となる方位角で、経緯度原点より真北を基準として右回りにつくば超長基線電波干渉計観測点方向の角度と定めています。

必要不可欠な日本経緯度原点と原点方位角

- ◆ 国土のある地点の正確な位置を知るためには、測量によって「緯度」と「経度」を決める必要があります。
- ◆ ある地点の位置を统一的に特定するためには、日本経緯度原点との正確な「距離」と真北からの「角度」が必要になります。
- ◆ その際、原点方位角が分かれば、どこの地点でも真北からの「角度」を正確に知ることができます。
- ◆ 全国に約11万点ある三角点は、日本経緯度原点と原点方位角を基準にして、順々に測量・計算して求められています。
- ◆ これにより、国内のどの場所でも三角点からの距離と角度を測量することで、日本経緯度原点に整合する位置を求めることができます。



東京都港区麻布台2-18-1(旧東京天文台跡)
東京都港区指定史跡(平成8年10月指定)



日本経緯度原点の歴史

- ・明治7(1874)年 海軍水路寮が芝区飯倉(現、港区麻布台)に観象台をつくり、天文観測を開始。
- ・明治16(1883)年 参謀本部が海軍観象台構内に一等三角点「東京」(旧)を設置。
- ・明治17(1884)年 参謀本部が一等三角点「東京」(旧)を仮の経緯度原点とする。
- ・明治21(1888)年 文部省が海軍観象台を引き継ぎ東京天文台を設置。
- ・明治25(1892)年 陸地測量部が東京天文台子午環中心を日本経緯度原点と定める。
- ・大正12(1923)年 関東地震(M7.9)で子午環が崩壊。後年、日本経緯度原点の位置に金属標を設置。
- ・平成13(2001)年 世界測地系に基づき新たに原点数値を決定。
- ・平成23(2011)年 東北地方太平洋沖地震(M9.0)に伴い原点数値を変更。

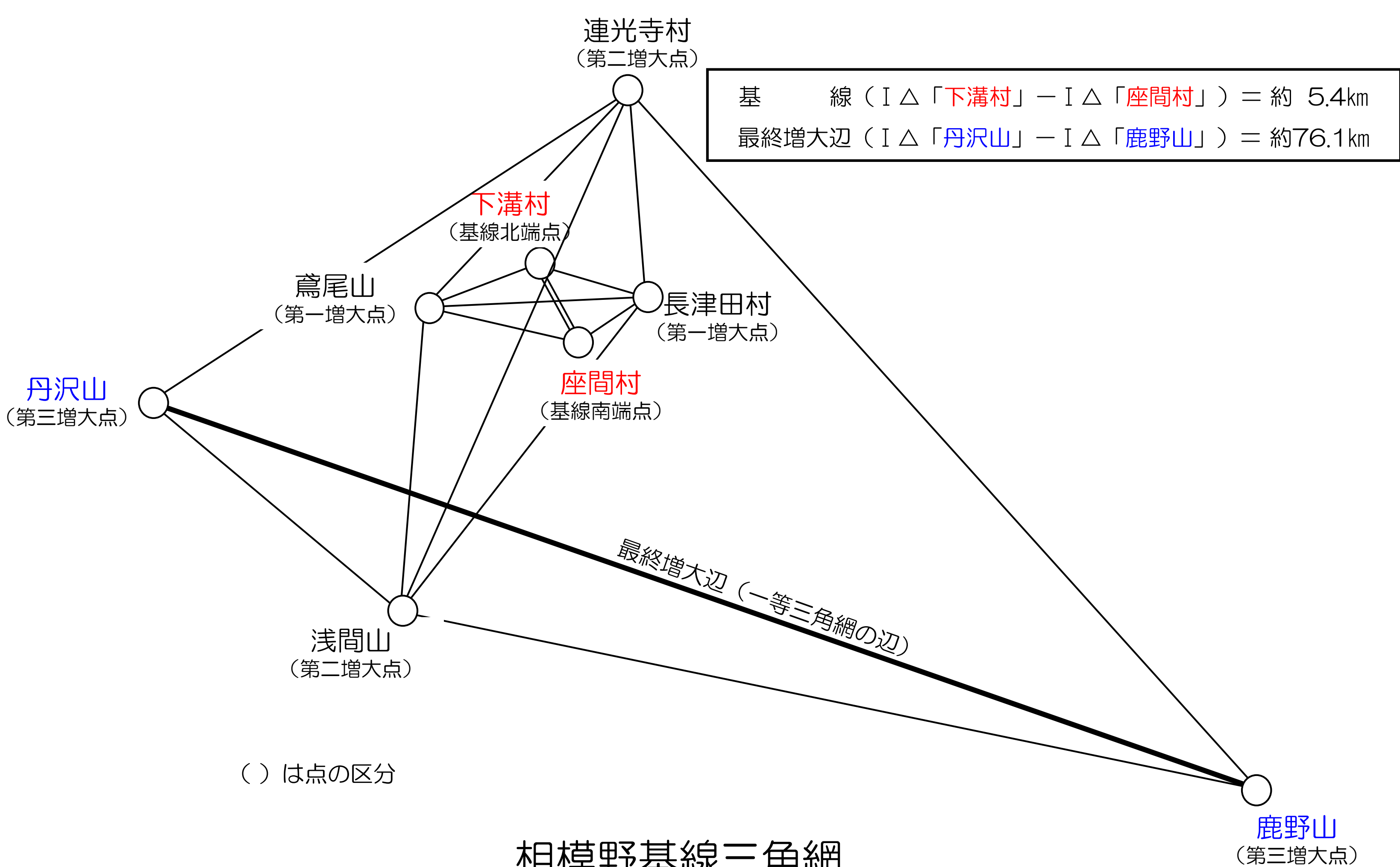
基線測量

三角測量において、最初の一辺の長さを決めるために二点間の長さを直接測定する作業を基線測量といい、この測定した辺を基線といいます。

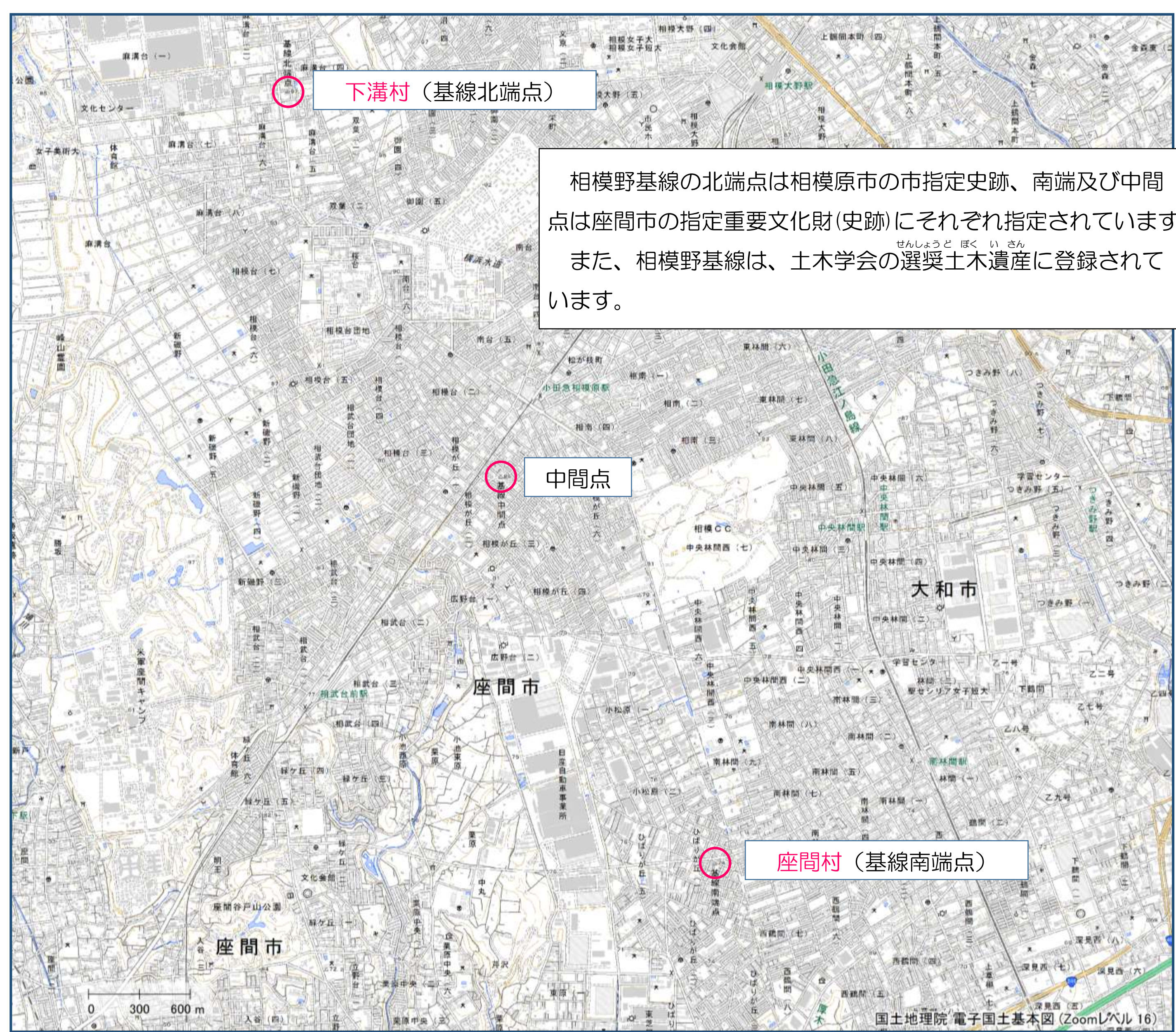
点間距離約45kmの一等三角測量の場合は、一辺を直接測定できないため、全国に長さ2kmから10kmの基線を設置し、この基線と一等三角網の一辺をつなぐ基線三角網によりその一辺の長さを計算で求めました。

陸軍における最初の基線測量は明治15年（1882）に相模野基線（神奈川県）で行われ、これ以降、大正2年（1913）の択捉基線まで全国15ヶ所で基線測量を行いました。

基線の測定には、13基線で「ヒルガード基線尺」（長さ4m）、2基線で「インバール基線尺」（長さ25m）が使用されました。

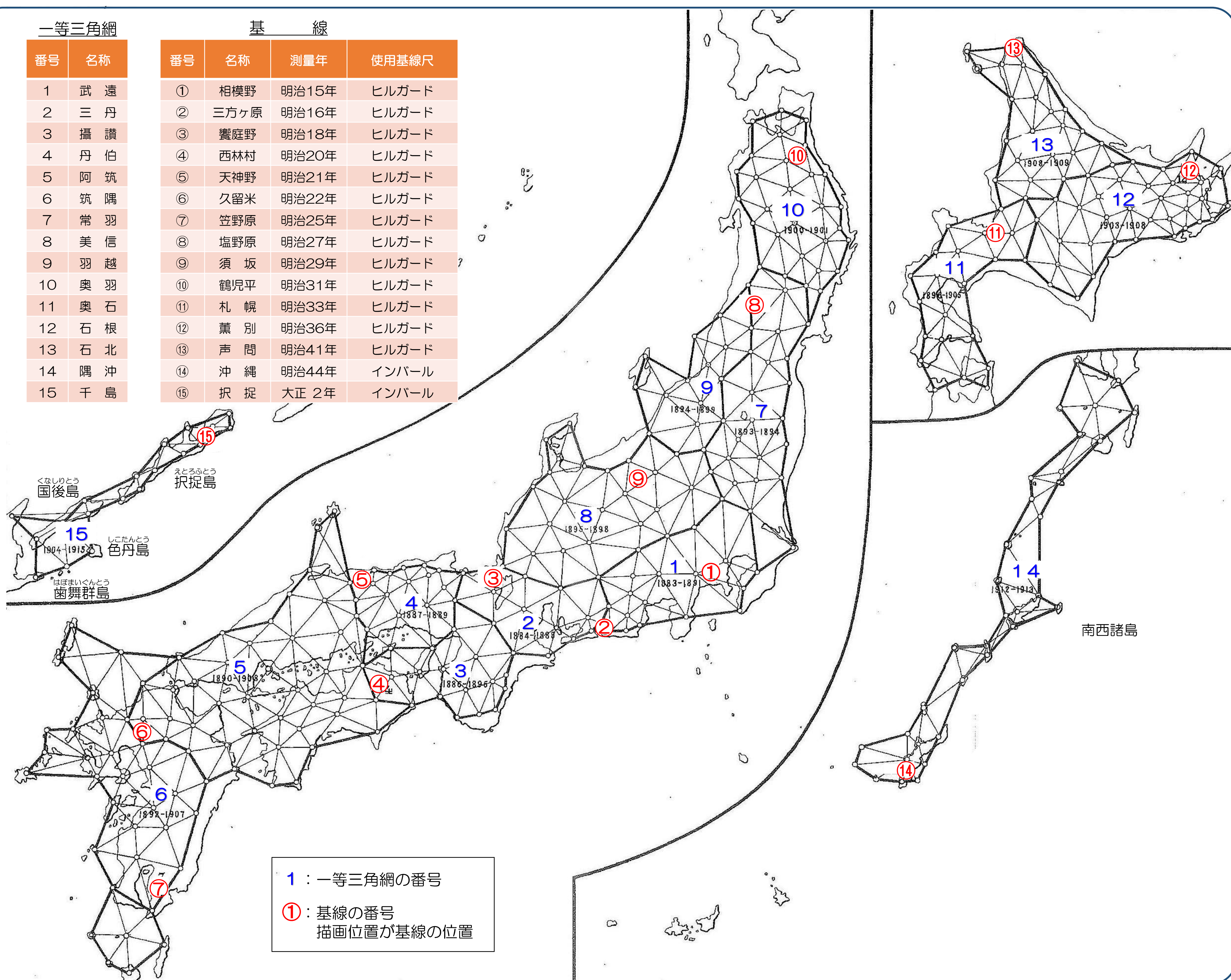


相模野基線三角網
基線三角網の各点はいずれも一等三角点



相模野基線の位置
中間点は四等三角点扱い

一等三角網		基線			
番号	名称	番号	名称	測量年	使用基線尺
1	武蔵	①	相模野	明治15年	ヒルガード
2	三丹	②	三方ヶ原	明治16年	ヒルガード
3	攝津	③	囊庭野	明治18年	ヒルガード
4	丹伯	④	西林村	明治20年	ヒルガード
5	阿筑	⑤	天神野	明治21年	ヒルガード
6	筑隅	⑥	久留米	明治22年	ヒルガード
7	常羽	⑦	笠野原	明治25年	ヒルガード
8	美信	⑧	塩野原	明治27年	ヒルガード
9	羽越	⑨	須坂	明治29年	ヒルガード
10	奥羽	⑩	鶴児平	明治31年	ヒルガード
11	奥石	⑪	札幌	明治33年	ヒルガード
12	石根	⑫	蕪別	明治36年	ヒルガード
13	石北	⑬	声問	明治41年	ヒルガード
14	隅沖	⑭	沖縄	明治44年	インバール
15	千島	⑮	択捉	大正2年	インバール



わが国の一等三角網と基線の位置



ヒルガード基線尺の測定風景
明治43年（1910）相模野基線



インバール基線尺の測定風景
明治43年（1910）相模野基線

一等三角点の設置

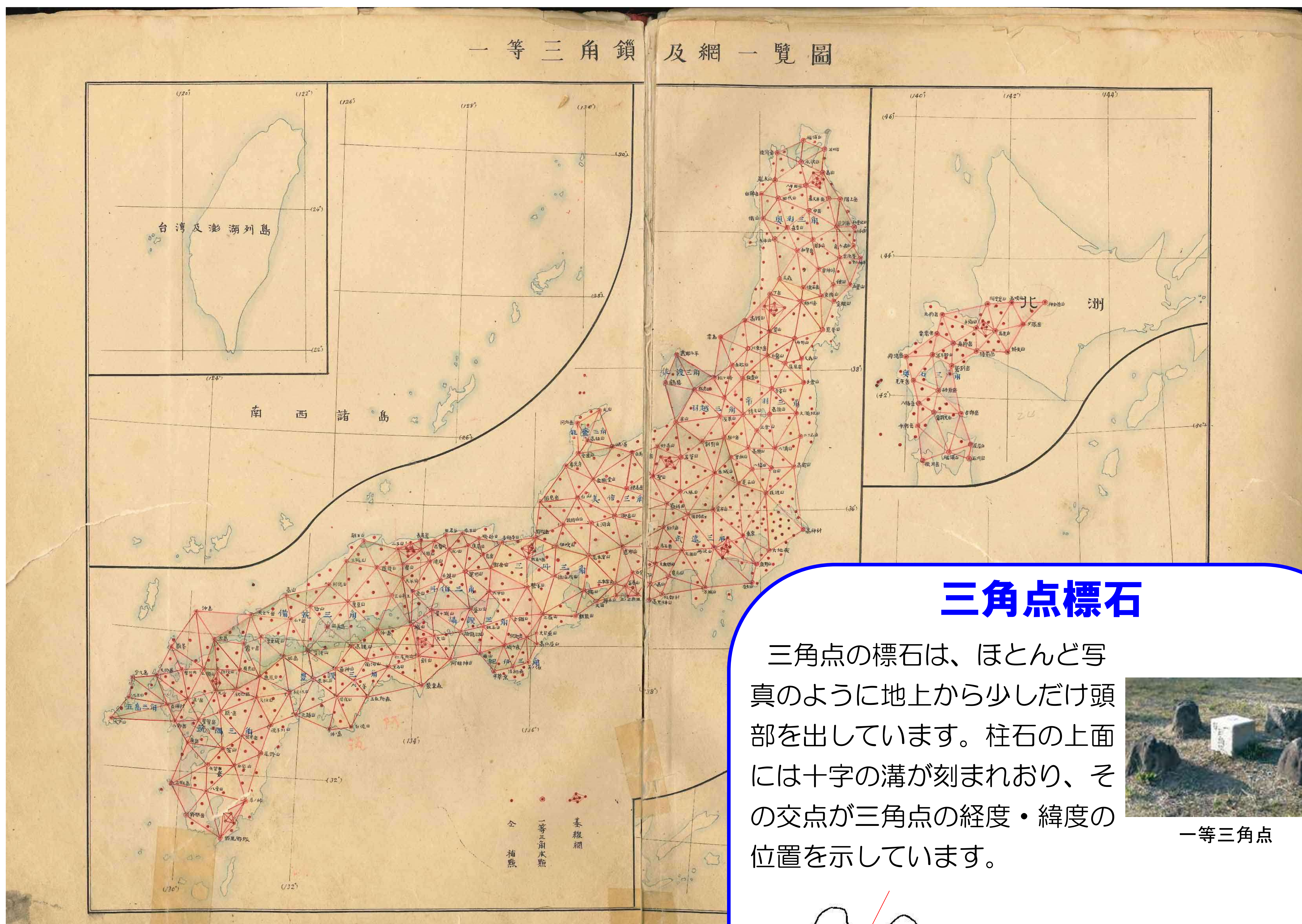
【明治16年(1883)~】

三角点とは

正確な地図を作製するためには、正確な位置を示す基準となる点を設置する必要があります。日本では、明治時代からその位置の基準となる「三角点」が全国に設置されてきました。

三角点は、日本経緯度原点を出発点として日本全国をカバーするように設置されています。離れた場所に三角点を設置するために、三角形をつないで測量を行い、三角形の原理を使って位置を求めてきました。その結果、明治中頃、全国を330点余りの三角点で一等三角網が形成されました。一等三角網から、順次二等三角点、三等三角点を高密度に設置して、地図を作製する際の基準として使われてきました。

当時の一等三角網

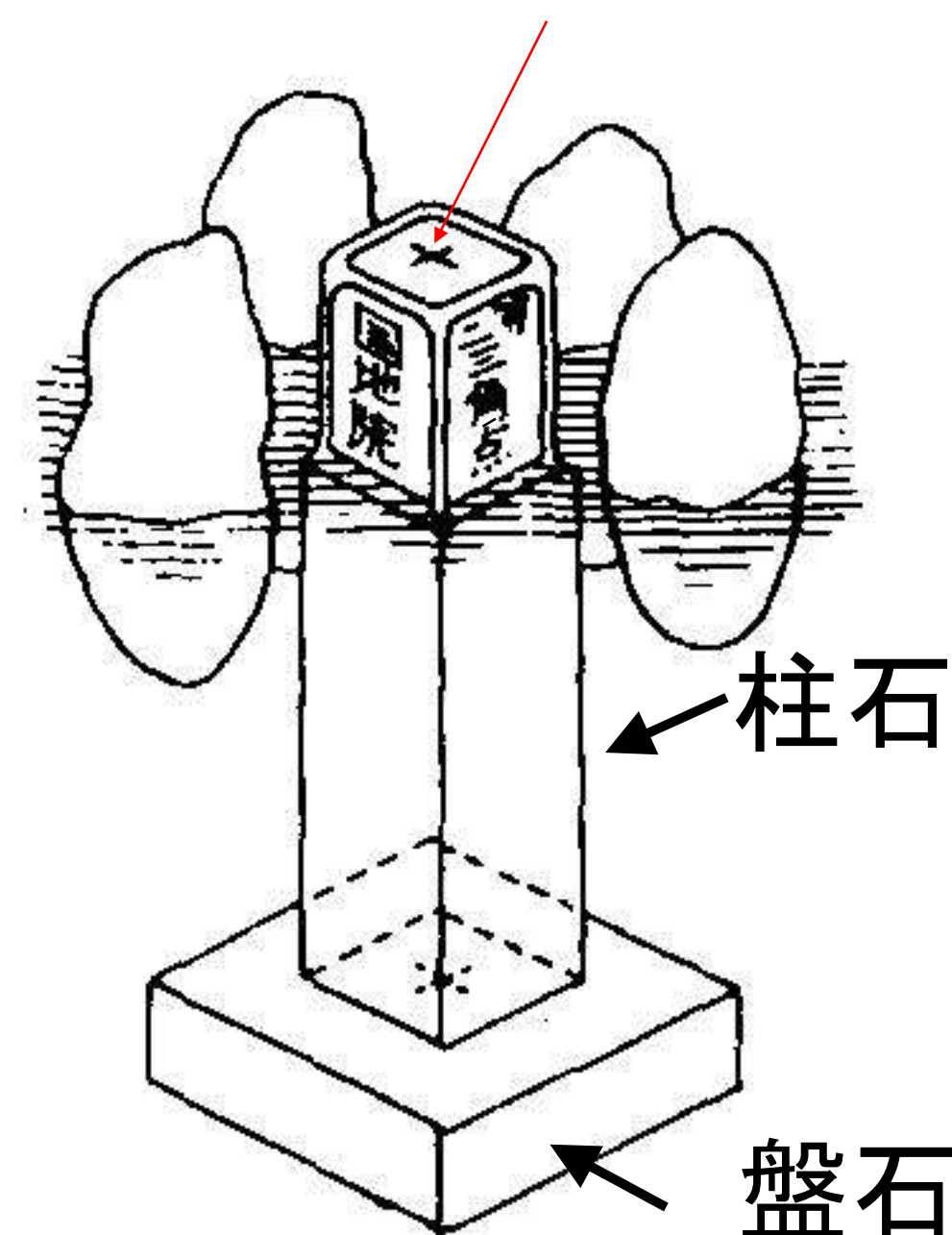


三角点標石

三角点の標石は、ほとんど写真のように地上から少しだけ頭部を出しています。柱石の上面には十字の溝が刻まれおり、その交点が三角点の経度・緯度の位置を示しています。



一等三角点



三角点標石の模式図

三角点の標石は、図のように柱石と盤石から成っています。一等三角点の場合、柱石の長さは82cm、盤石の大きさは41cm角です。

明治30年代の一等三角鎖及網一覽図

選点に使用した地図

「三角測量法式草案」の地図上ノ講究では以下のように『大日本全図』と『20万分1輯製図』^{しゅうせい}を用いて図上計画すると記載されています。

第四節 地図上ノ講究 49

選点作業の目的を満足させるためには、必ず先に、地図によって図上計画をする。これには在来の大日本全図（864,000分1）により、地形全体を熟視して、仮定点を理想的な位置に三角点を配布し、三角鎖あるいは三角網の形状等も考慮し、後日20万分1輯製図により、仮定点の位置を対照し、必要があればその付近において適宜の位置を山頂上に求める。このようにして順次三角鎖あるいは三角網の形状を図上に表示する。

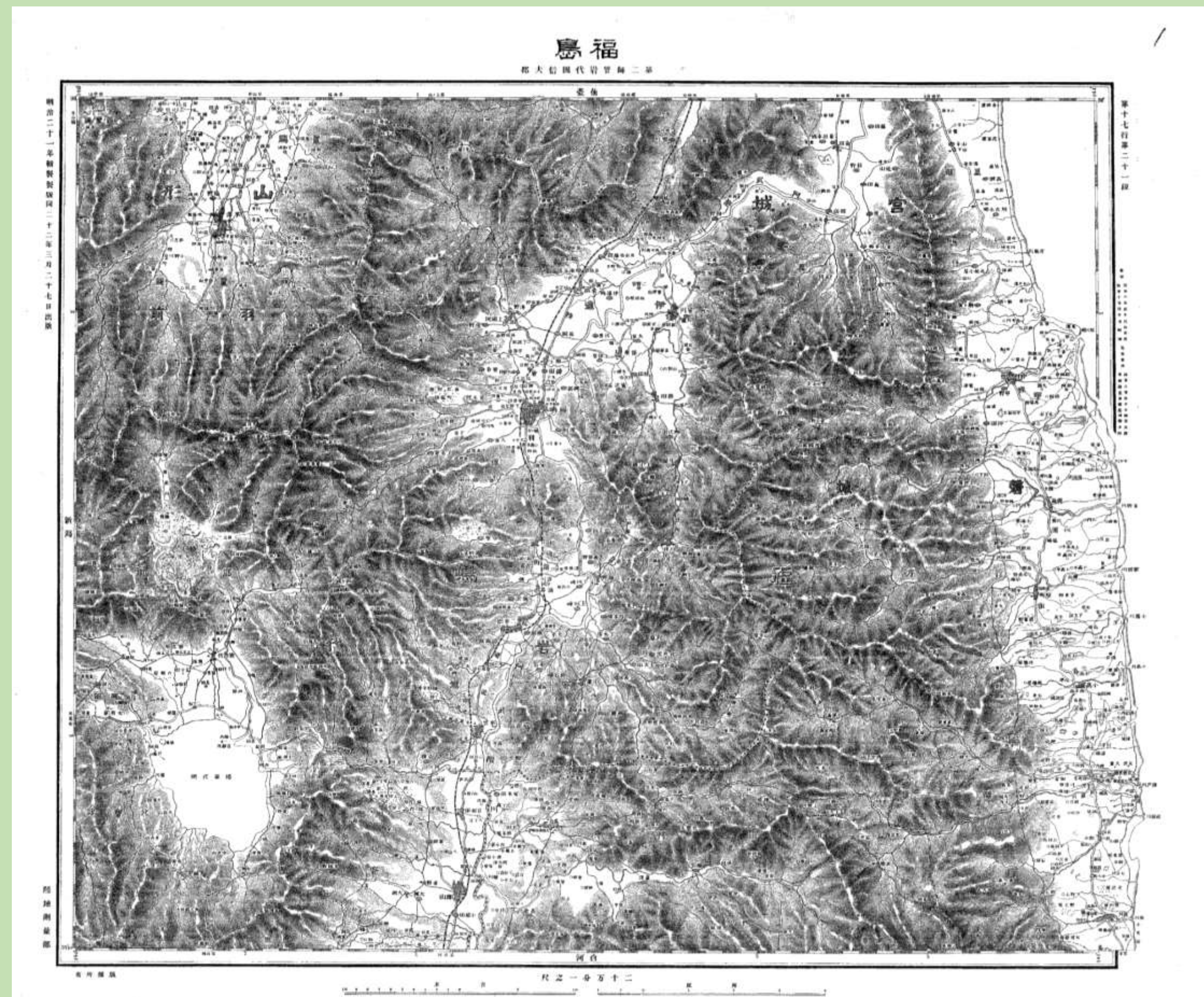
また、北海道に関しては、選点時に仮製5万分1測図が作成されていたため、使用されたと思われる。



大日本全図

大日本全図とは

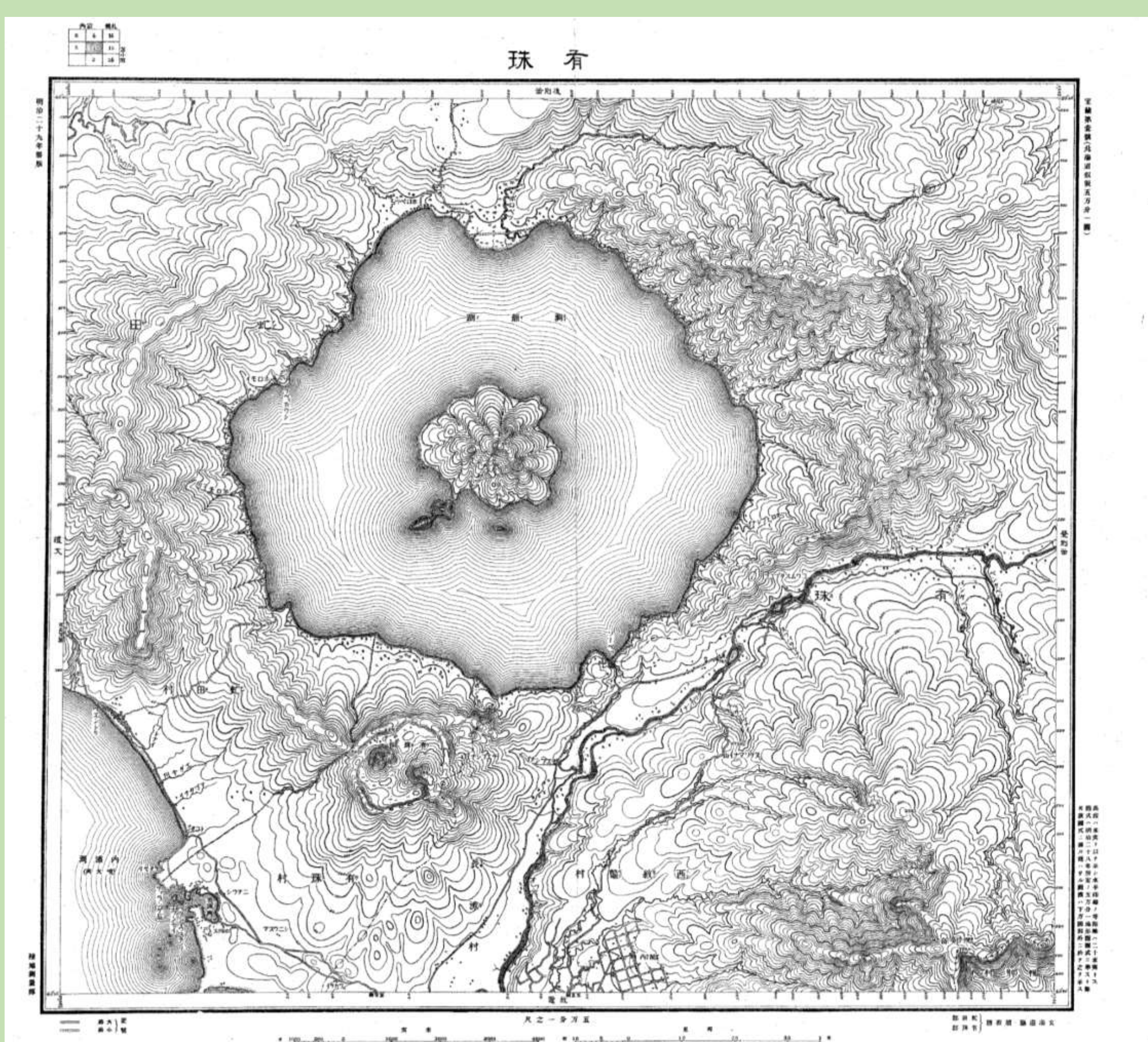
陸軍参謀局は明治6年（1873年）に、伊能図の空白域を国界、山地、水系などで補い、地形をケバ式で表現した「大日本全図」を編纂し、銅版印刷で印刷、発行されました。



20万分1輯製図^{しゅうせい}

20万分1輯製図とは

明治17年（1884年）陸軍参謀本部は、伊能図、内務省の地形図・河川図及び各府県庁作成の地図その他を資料として、経度差1度、緯度差40分の区画で、多面体図法による20万分1図の編集に着手し、明治26年（1893年）までに国土の全域（一部の離島を除く）の地図を完成しました。これが、「20万分1輯製図」です。この図は、当時の我が国における、統一図式による最大縮尺の地図です。



仮製5万分1測図^{かせい}

北海道庁作成仮製5万分1測図とは

北海道は、ほぼ全域にわたり明治29年（1896年）から31年（1898年）にかけて北海道庁による仮製5万分1測図が作成されました。

高規標 (測量用やぐら)

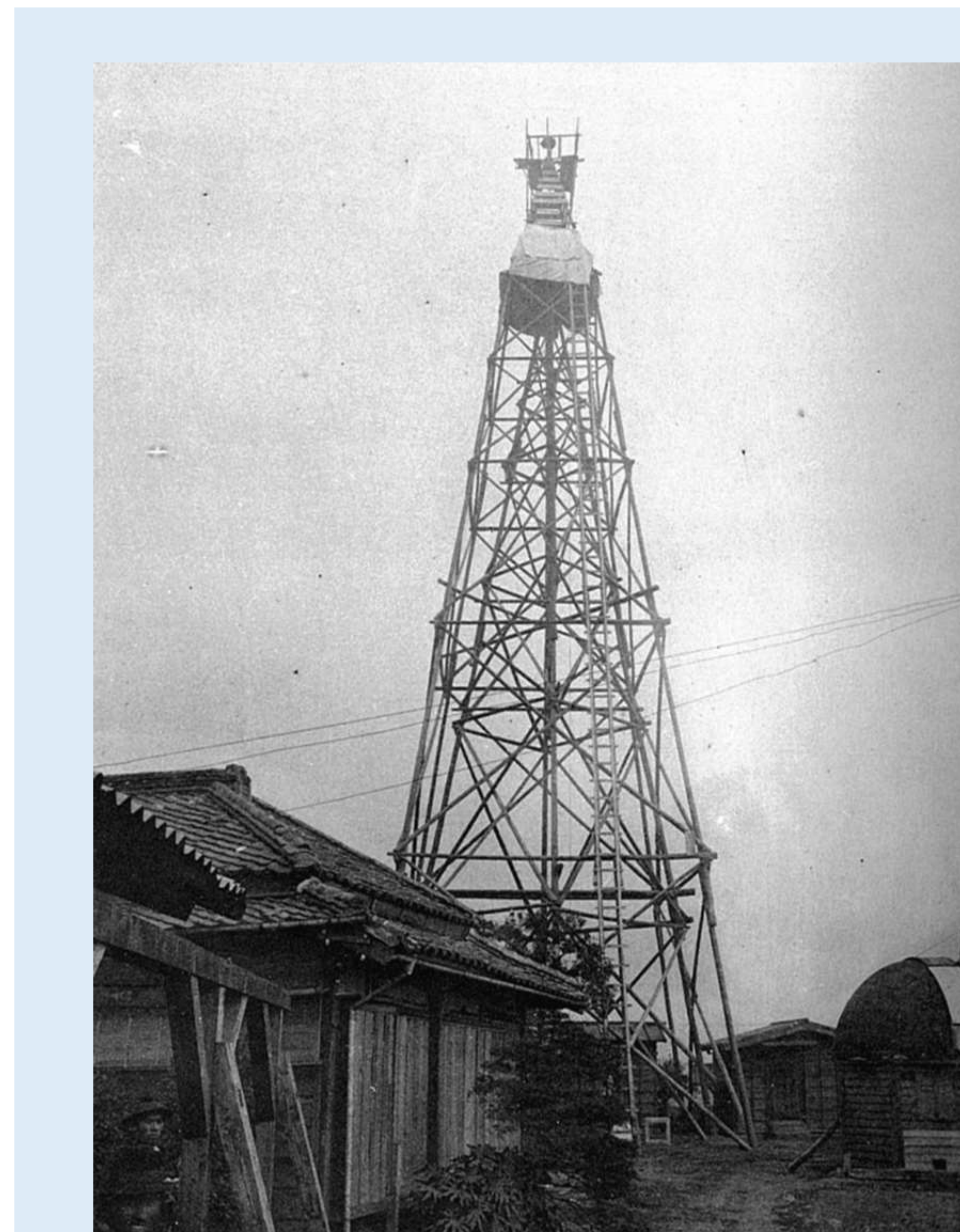
高規標とは

一等三角測量は、約45km離れた三角点間を測る測量です。平地では、約45km離れた遠くの三角点を観測する必要から、懸柱式高規標（けんちゅうしきこうてんぴょう）という測量用やぐらを建てました。

懸柱式高規標は、測標主部（測器架）と測標属部（測櫓と錐体）の2つのやぐらで構成されています。

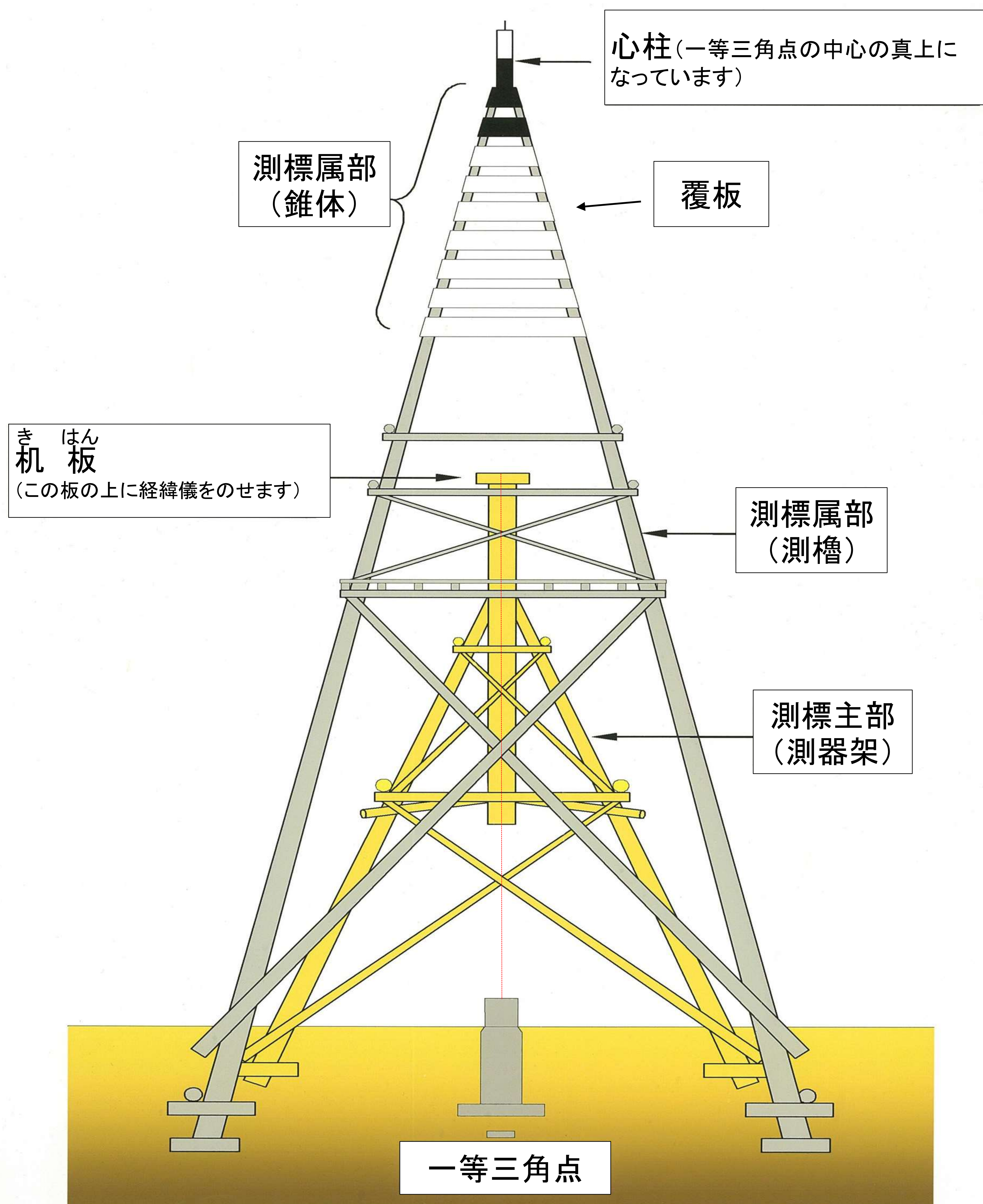
測標主部は、経緯儀（角度を測る測量器機）をのせるためのやぐらで、測標属部は、観測者が乗るためと観測時の目標とするためのやぐらです。

この2つのやぐらは、観測者が測標属部の上を移動しても経緯儀が揺れないよう、互いに接触しない構造になっています。机板に載せた経緯儀の中心が三角点の十字に合っています。



関東地震後の復旧測量で建設した懸柱式高規標（大正13年造標、机板高26m）

高規標の構成



やぐらの材料を運ぶ様子。山頂までの道のりを何往復も歩く。



やぐらを建てる様子。職員は観測だけでなく大工仕事もこなす。

一等経緯儀^{けい い ぎ}

(カールバンベルヒ製、ドイツ)

明治5年（1873）に土地測量を目的に東京府下で三角測量が開始されました。

三角測量で使用された測量機器は、角度を正確に測る^{けい い ぎ}経緯儀です。

【用途・特徴・使用期間等】

一等経緯儀は、陸地測量部の発足以前の明治16年（1883）から一等三角測量（点間の距離が45 km程度）に使用されていました。角度の読み取りは、2つのバーニアで行い、水平角を0.2秒単位で求められます。

その後、ガラス目盛り盤とマイクロメーターを備えたウイルドT3の登場によって1960年代から使用されなくなりました。

【製造概要】

製造国	ドイツ
製造会社	カールバンベルヒ社

【仕様・性能】

水平目盛り盤	直径27.5cm
望遠鏡の倍率	35~54倍
望遠鏡の長さ	55cm
最小読み取り値	0.2秒（1/18,000度）
^{きほうかんかんど} 気泡管感度	4~5秒/2mm



一等経緯儀（カールバンベルヒ製）



観測 昭和34年（1959） 白馬岳にて



荷揚げ風景（昭和20年代）

三角測量を実施する時に使用した機器 (垂直器・垂直桿と回照器・回光灯)

すいちよく すいちよくか 垂直器・垂直桿

【用途・特徴等】

森林等で他の三角点などの視通が取れないとき設置する高測標の机板しつう（経緯儀などを載せる台）に地上の標識の位置を投影させるために用いる器械のことを垂直器といい、経緯儀とほぼ同じですが、目盛盤などはついていません。この視準目標となるのが垂直桿です。



垂直器

垂直桿

かいしょうき かいこうとう 回照器・回光灯

【用途・特徴等】

回照器は、平面鏡を用いて太陽光を観測点に送る装置で、角観測の視準目標しじゆんもくひょうとしてのものです。鏡の中心孔と視準筒の十字線ちゆうしんこうをじゆうじせんを連ねる方向を目標に向け、これに鏡による太陽反射光を合わせ、太陽の日周運動に合わせて鏡の傾きを少しずつ調整しました。

一方の回光灯は、回照器と同じく角観測の視準目標として、こちらは夜間に使用しました。回光灯の光源には、アセチレンやカーバイトの燃焼の光が使用されましたが、昭和30年代からは電球の光が使用されるようになりました。



回照器

太陽の日週運動に合わせて鏡の向きを調整します



回光灯

左：カーバイト使用、右（回照器の下）：電球使用

三角測量の前と後の地図

三角点設置前の地図と設置後の地図の比較(左右の地図は同じ場所です)



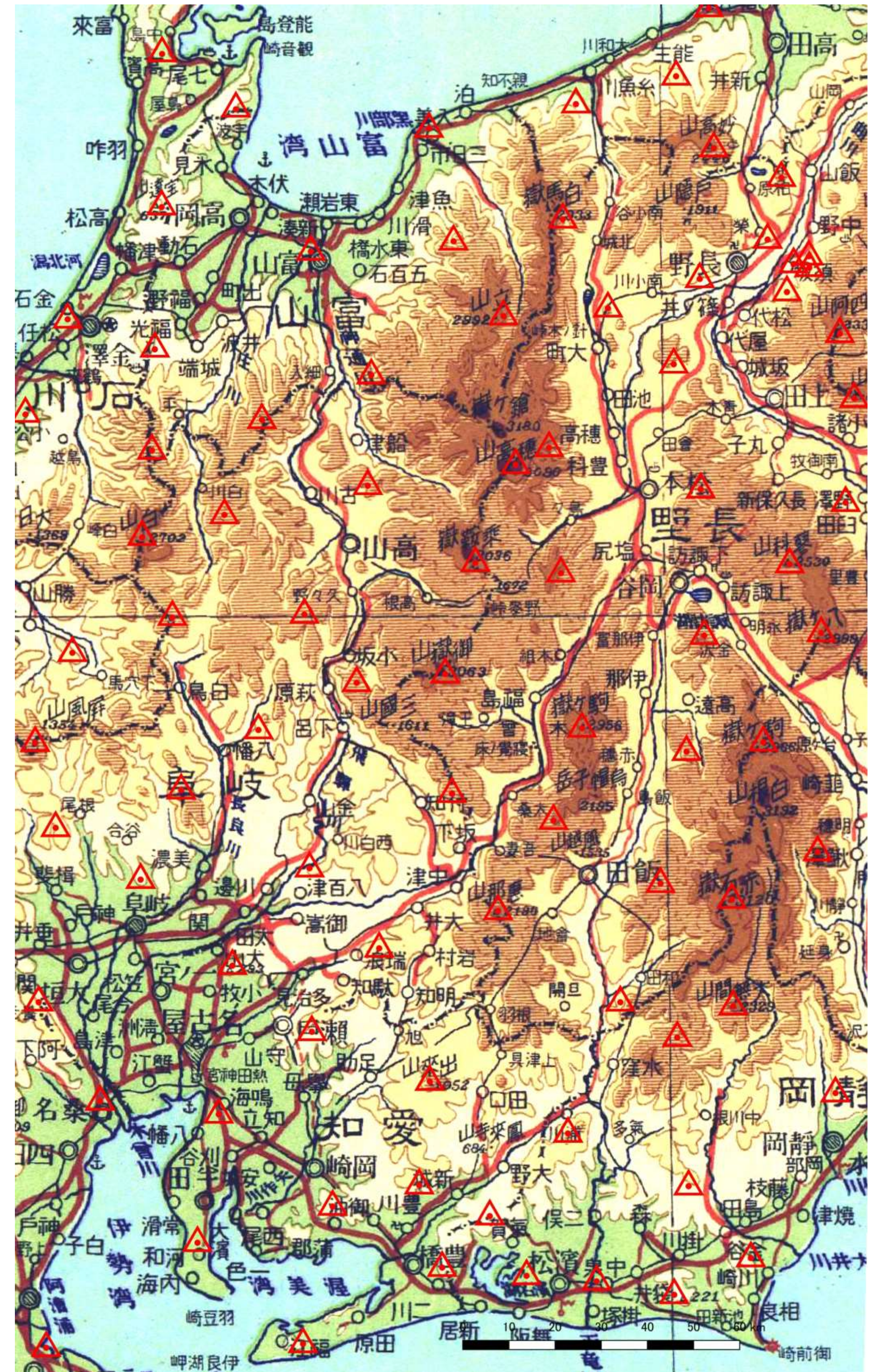
大日本全図の一部
(紀元2537年(明治10年1877年))

明治初期の図では伊能図を元に作成されていますので海岸線はほぼ同じですが、山岳地帯の形状や位置の誤差が大きく、北アルプスなどの山脈は直線状に描かれています。

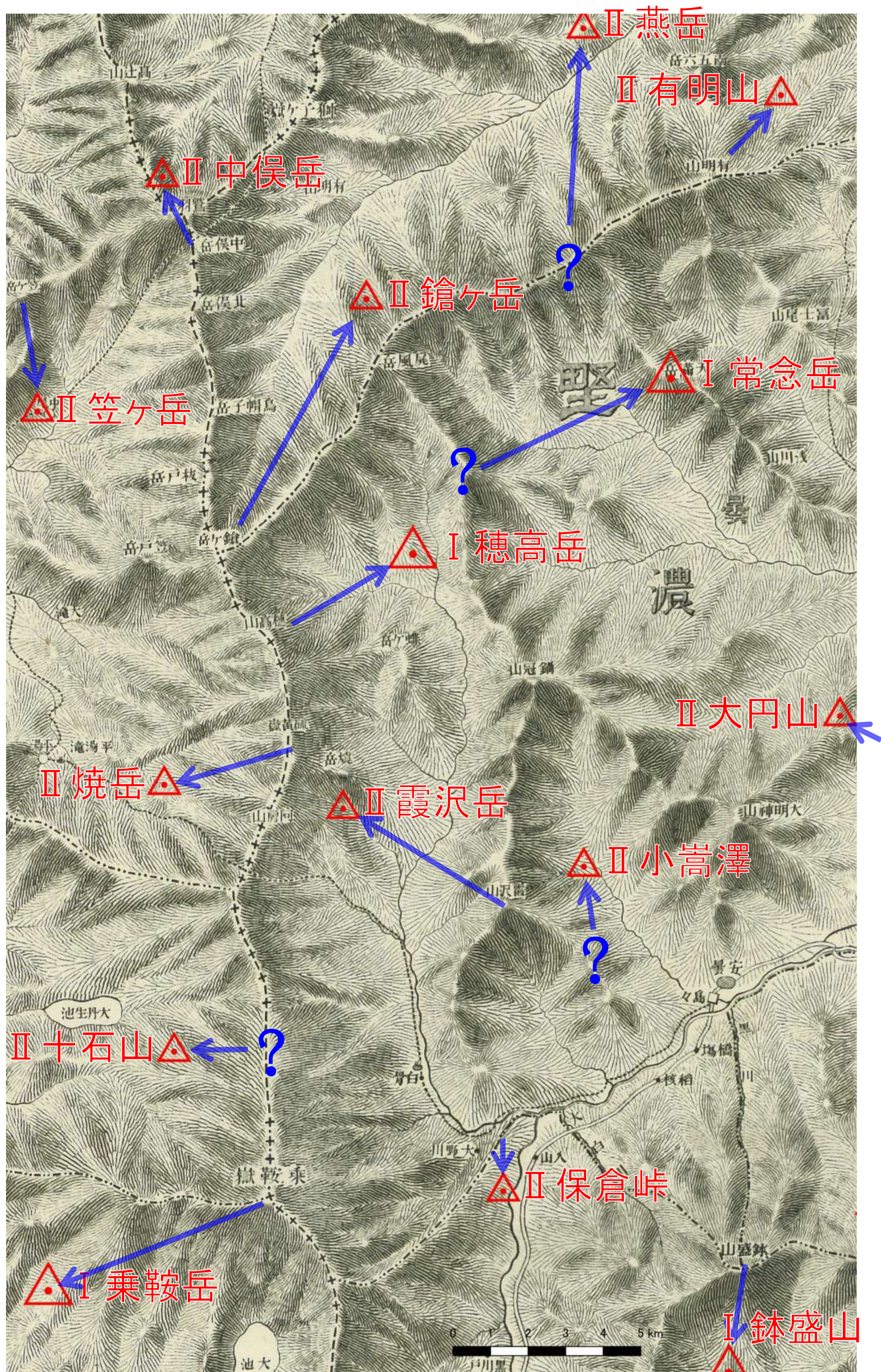
これに対し一等三角点をはじめとした二等・三等の三角点の設置後に作成された地図は現在の地図とほぼ同じ地形になっています。



△は一等三角点



大日本與地図の一部
(大正15年<1921年>製版
昭和12年<1937年>修正)



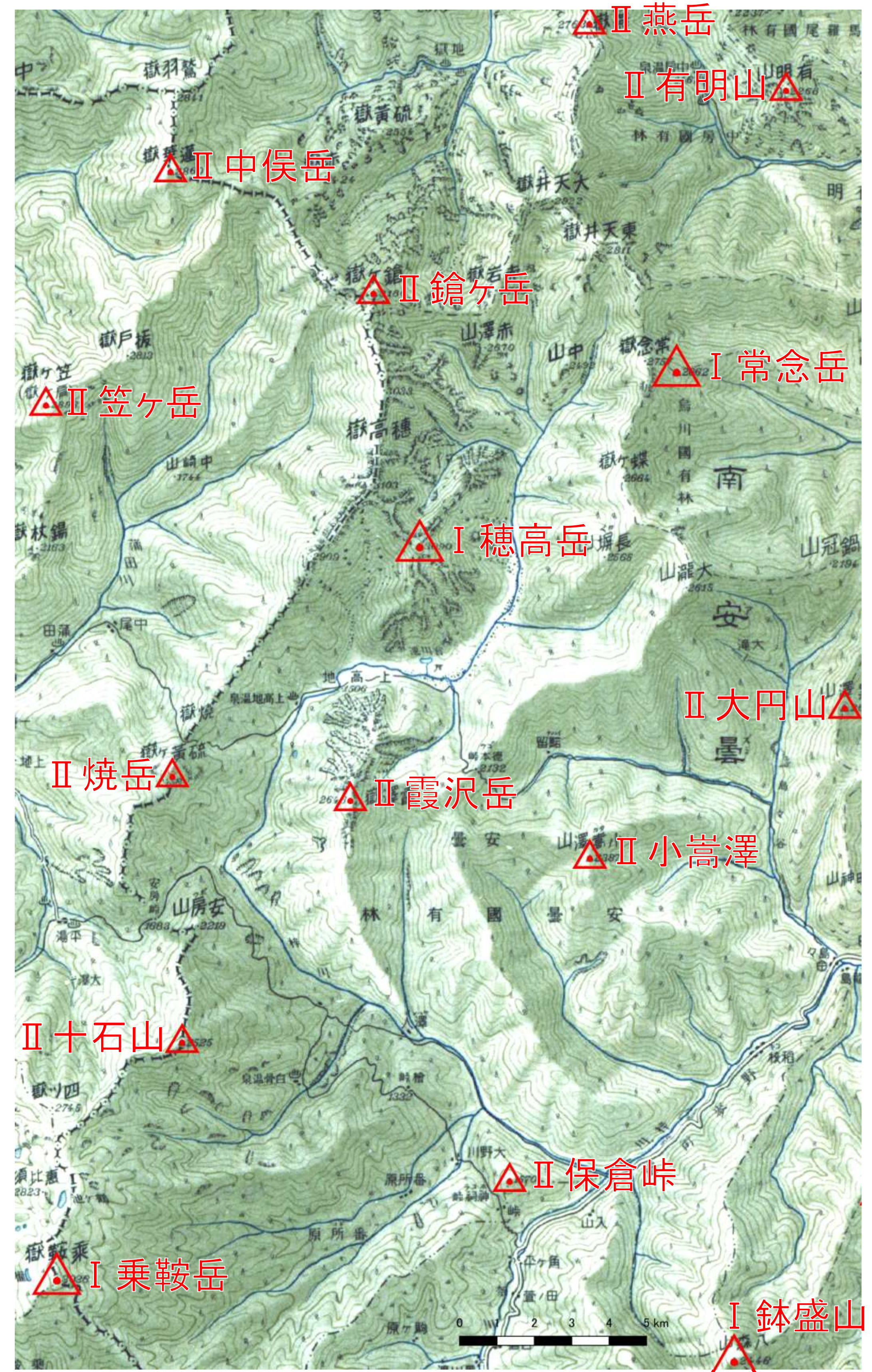
20万分1高山の一部
(明治23年<1890年>輯製)

上高地周辺の範囲の地図を拡大したものです。槍ヶ岳(点名:鎗ヶ岳)、穂高岳、常念岳や乗鞍岳が入る範囲ですが、三角点の測量を行う前の図は山名が載っていますが、位置がずれているとともに山岳の位置関係も異なっています。

また、測量をしていないので山の標高は載っていません。



△は一等三角点と点名
△は二等三角点と点名



20万分1帝国図高山の一部
(大正10年<1921年>製版)