

# 近年の測量技術

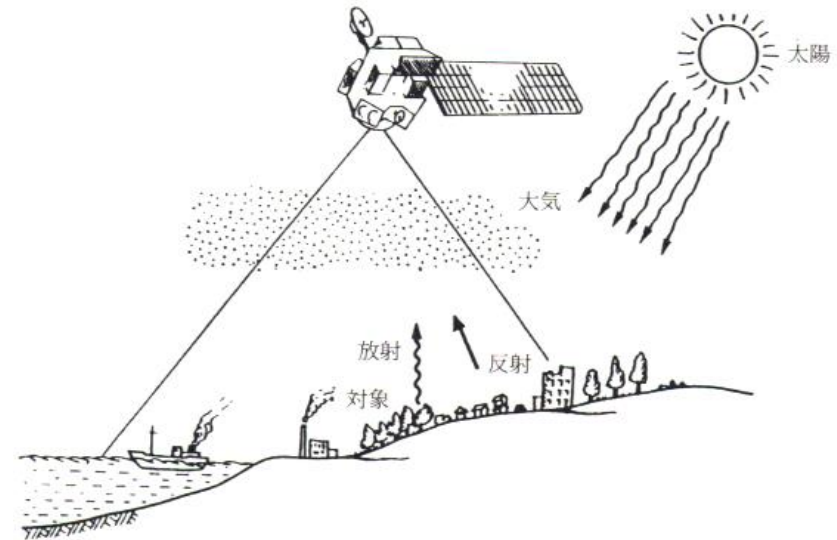
## ～リモートセンシングを中心に

東京大学大学院  
工学系研究科  
布施孝志

# 1. リモートセンシングとは

**電磁波**，重力，磁力，音波などを利用して，離れた位置から  
直接触れずに，目的とする対象物を調査・解析する技術

**地表面から反射，放射される  
電磁波**を人工衛星に搭載した  
**センサ**によって感知し，対象物  
の状態を調査・解析する技術



他の観測技術と比べて

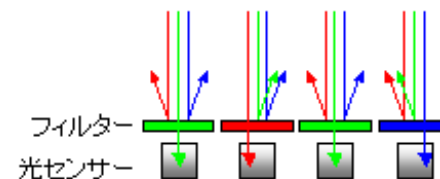
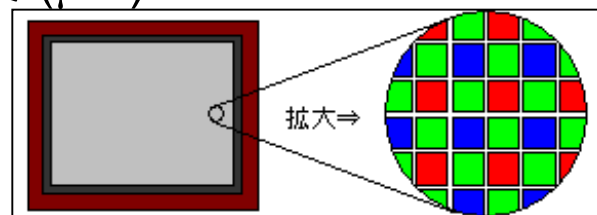
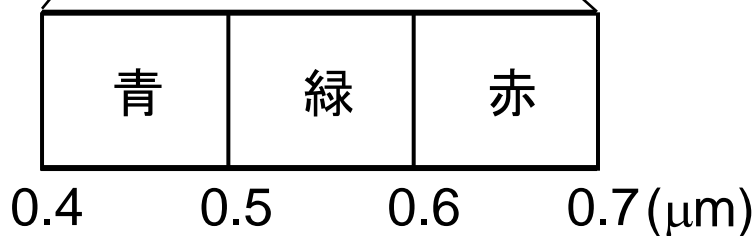
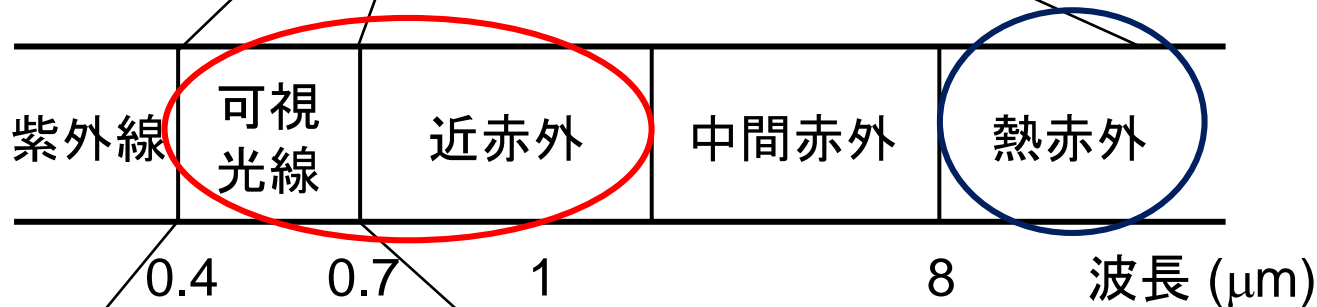
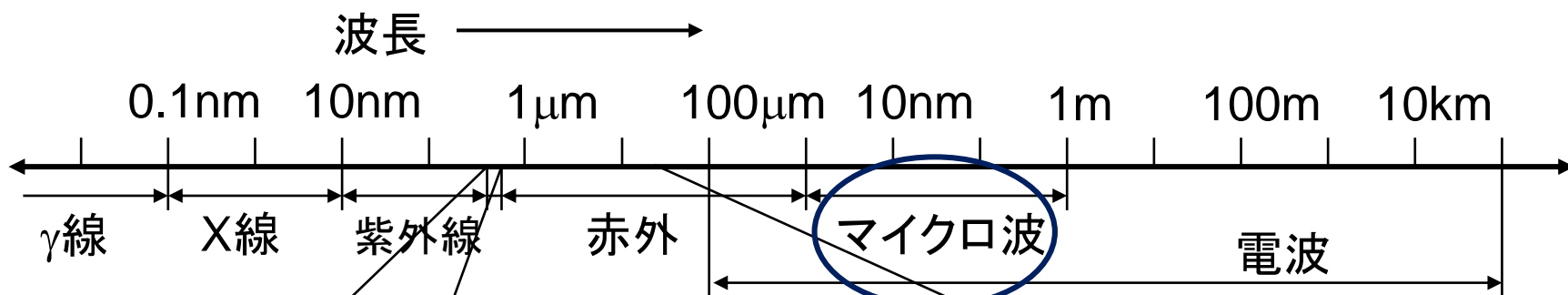
- 広域の情報を同時に
- 定期的に長期間にわたって
- デジタルデータとして入手可能

## 2. 様々な測量システム

プラットフォーム	衛星	飛行機・ヘリコプター	ドローン・UAV	車両 (MMS)
センサ・取得データ	光学センサ・画像	光学センサ・画像	光学センサ・画像	光学センサ・画像
		レーザ・3次元点群	レーザ・3次元点群	レーザ・3次元点群
画像の解像度 (観測幅)	0.31m～ (13.1km)	数cm～	数cm～	数cm～
点群密度		4点/m <sup>2</sup> ～		
備考	レーダ レーザ 軌道 超小型衛星	旧航空写真の蓄積多数あり	無人飛行 安価・簡便	衛星測位の精度に依存

# 3. センサの特徴と関連技術

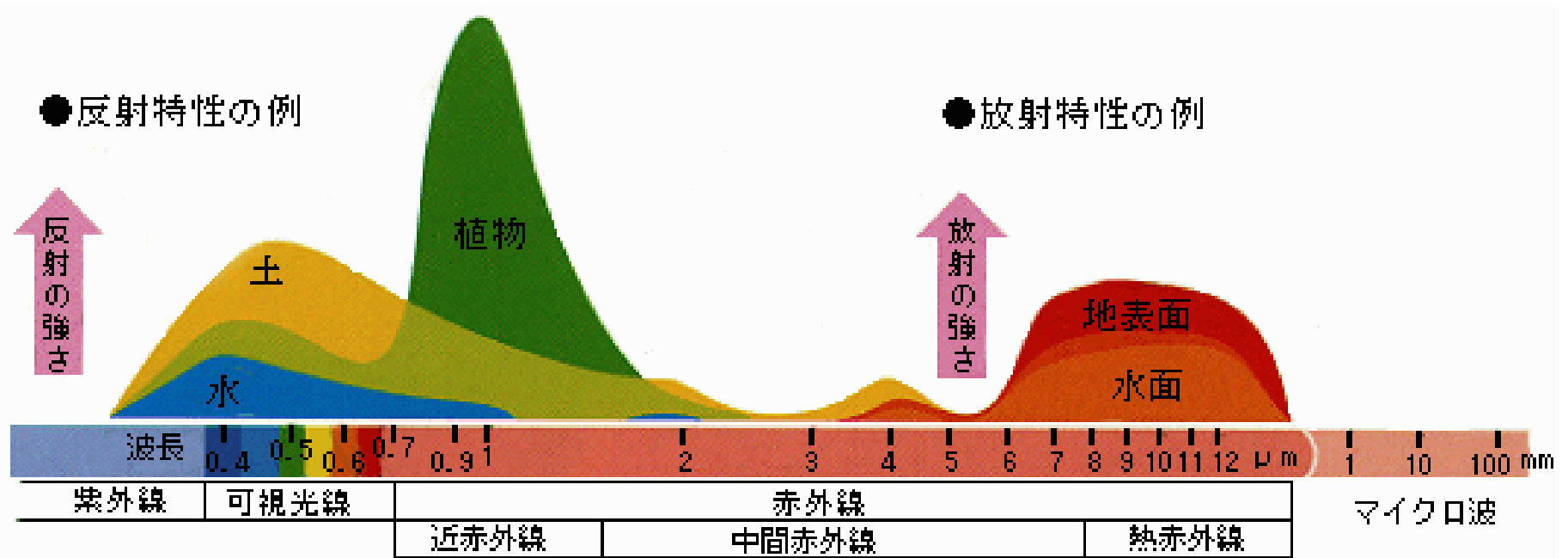
## 3-1 光学センサ 電磁波の種類



## 3-1 光学センサ 分光特性

物体が反射あるいは放射する電磁波の強さが  
波長によって異なる性質

- ➡
- ・物体の状態の観測, あるいは識別が可能
  - ・可視光以外の電磁波により, 人の目に見えない物体の状態もわかる



## 3-1 光学センサ 分光特性



## 3-1 光学センサ 空間分解能

### 衛星画像 WorldView-3

分解能 : 31cm  
バンド : 4バンド(B,G,R,NIR)  
ビット深度 : 11bits/pixel  
エリア : 新宿, 渋谷等



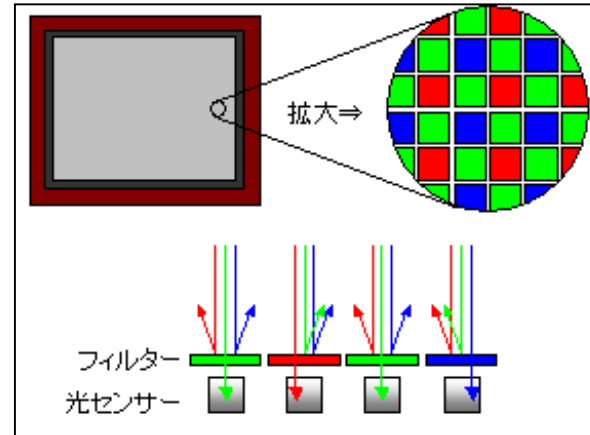
### 航空写真 DMC

分解能 : 7.3cm  
バンド : 3バンド(B,G,R)  
ビット深度 : 8bits/pixel  
エリア : 板橋等

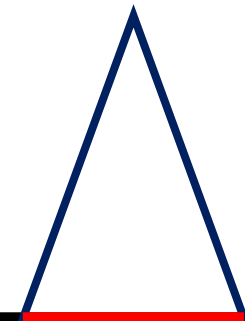
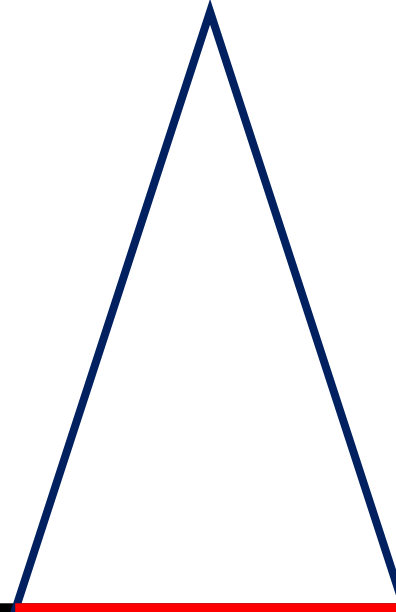
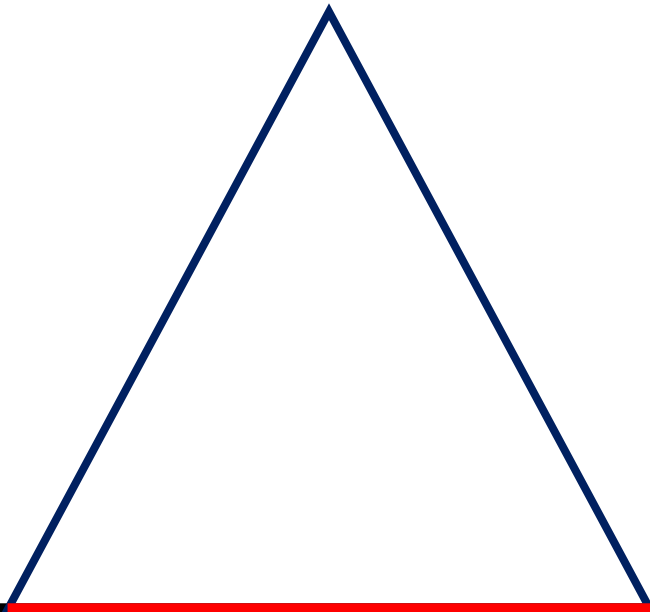
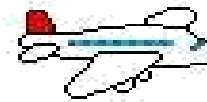


# 3-1 光学センサ 空間分解能と観測範囲

焦点距離(画角)  
高度



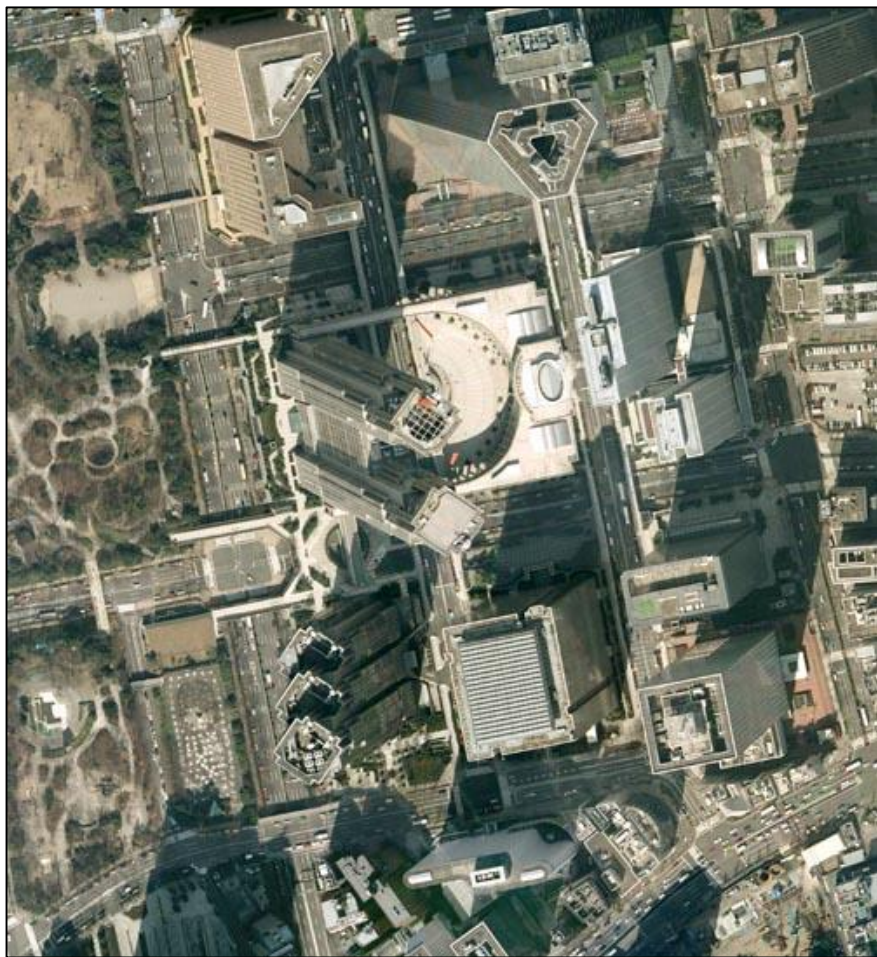
画素数が  
同じならば



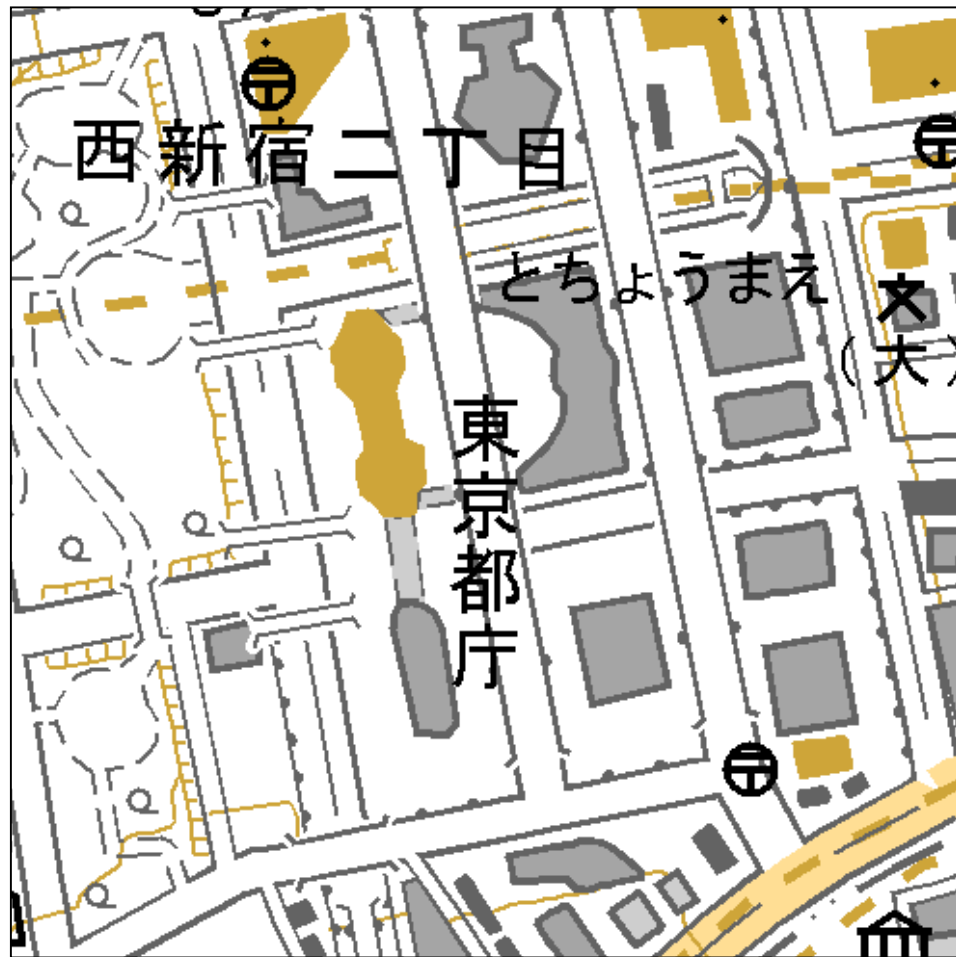


## 3-2 写真測量

## 中心投影(空中写真)と正射投影(地形図)



空中写真

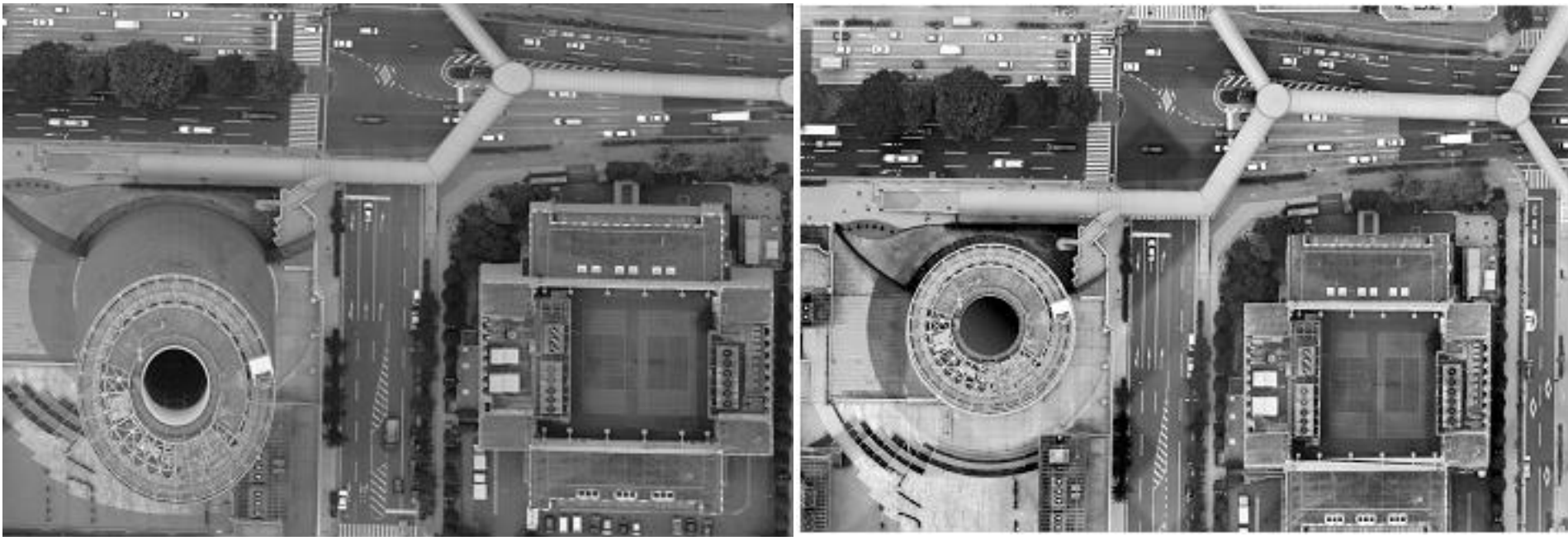


1:25,000地形図

中心投影: **高さの差** ⇒ **画像上では平面的なずれ**  
これに基づき3次元計測が可能

## 3-2 写真測量 オルソ画像

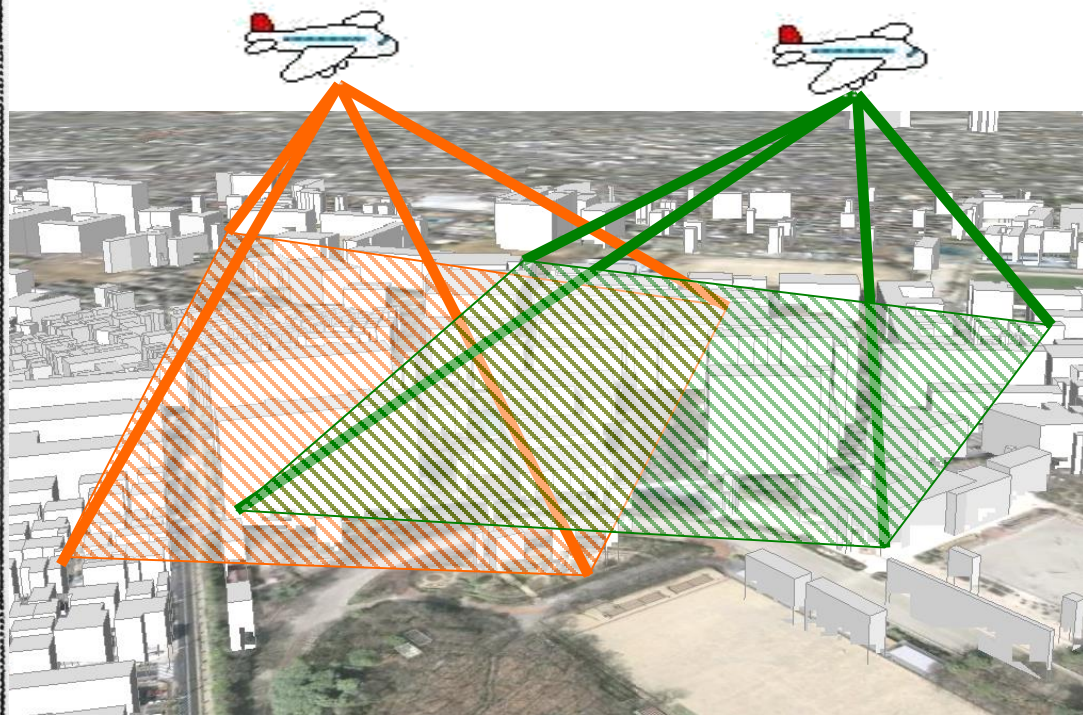
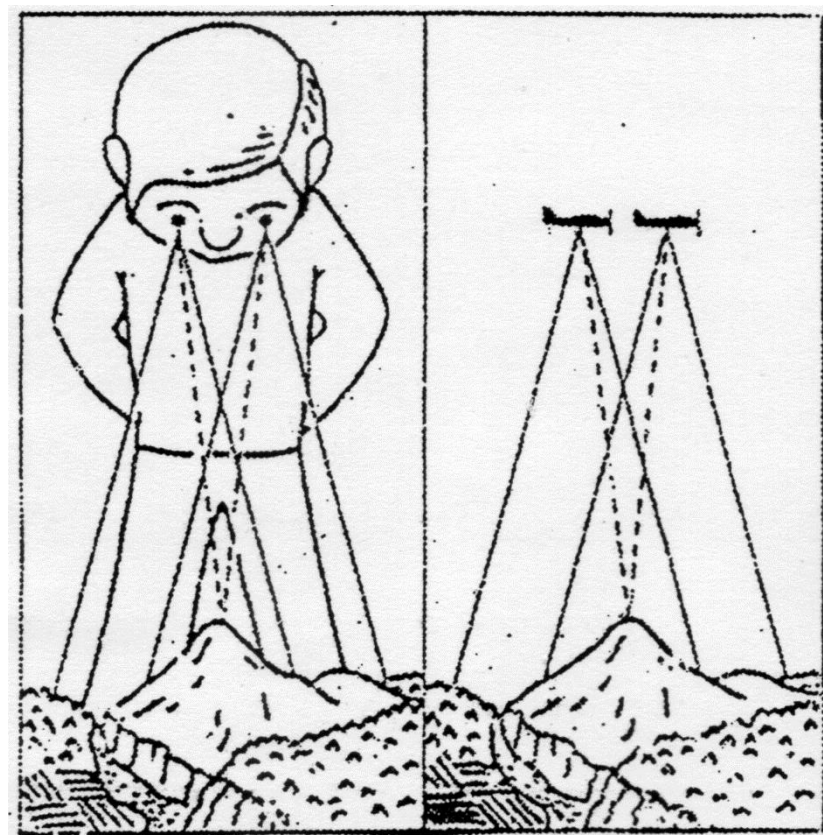
中心投影(左)を正射投影(右)に変換した画像



➡ 地形図(正射投影)などとの重ね合わせが可能

## 3-2 写真測量

重複のある複数の画像(ステレオ画像)  
⇒ 写真測量による3次元計測



# 【国土交通省資料】各種リモートセンシング技術に関する調査結果

- 航空写真、衛星画像及び航空レーザ測量データの精度としては、山林及び原野並びにその周辺の区域(地籍調査の精度区分「乙二」「乙三」の区域)の筆界が計測可能
- まずは既存の航空写真や衛星画像を活用し、必要に応じて航空写真の新規撮影、航空レーザ測量の実施を検討することが効率的

## リモートセンシング技術の位置精度及び撮影・計測費用

		主な作成可能資料	データ諸元	位置計測精度 (標準偏差)	撮影・計測費用 (概算※2)
航空写真	新規撮影	<ul style="list-style-type: none"> <li>写真地図※1 (オルソ画像)</li> <li>標高データ (表層面)</li> </ul>	—	40cm程度	3万円/km <sup>2</sup>
	アーカイブ (近年撮影)		地上解像度 20cm		0.8万円/km <sup>2</sup>
	アーカイブ (過去撮影)		地上解像度 0.4m~2.4m	2m程度以上	
衛星画像	地上解像度 30cm		60cm程度	0.6万円/km <sup>2</sup>	
航空レーザ (航空写真同時撮影)		<ul style="list-style-type: none"> <li>写真地図※1 (オルソ画像)</li> <li>標高データ (表層面、地表面)</li> <li>林相図 等</li> </ul>	計測密度 4点/m <sup>2</sup>	40cm程度	80万円/km <sup>2</sup>

## 地籍調査の精度区分

精度区分	筆界点の位置誤差	
	平均二乗誤差	公差
甲一 (大都市の市街地区域)	2cm	6cm
甲二 (中都市の市街地区域)	7cm	20cm
甲三 (上記以外の市街地及び村落並びに整形された農用地区域)	15m	45cm
乙一 (農用地及びその周辺の区域)	25cm	75cm
乙二 (山林及び原野並びにその周辺の区域(乙三に掲げる区域を除く))	50cm	150cm
乙三 (山林及び原野のうち特段の開発が見込まれない区域)	100cm	300cm

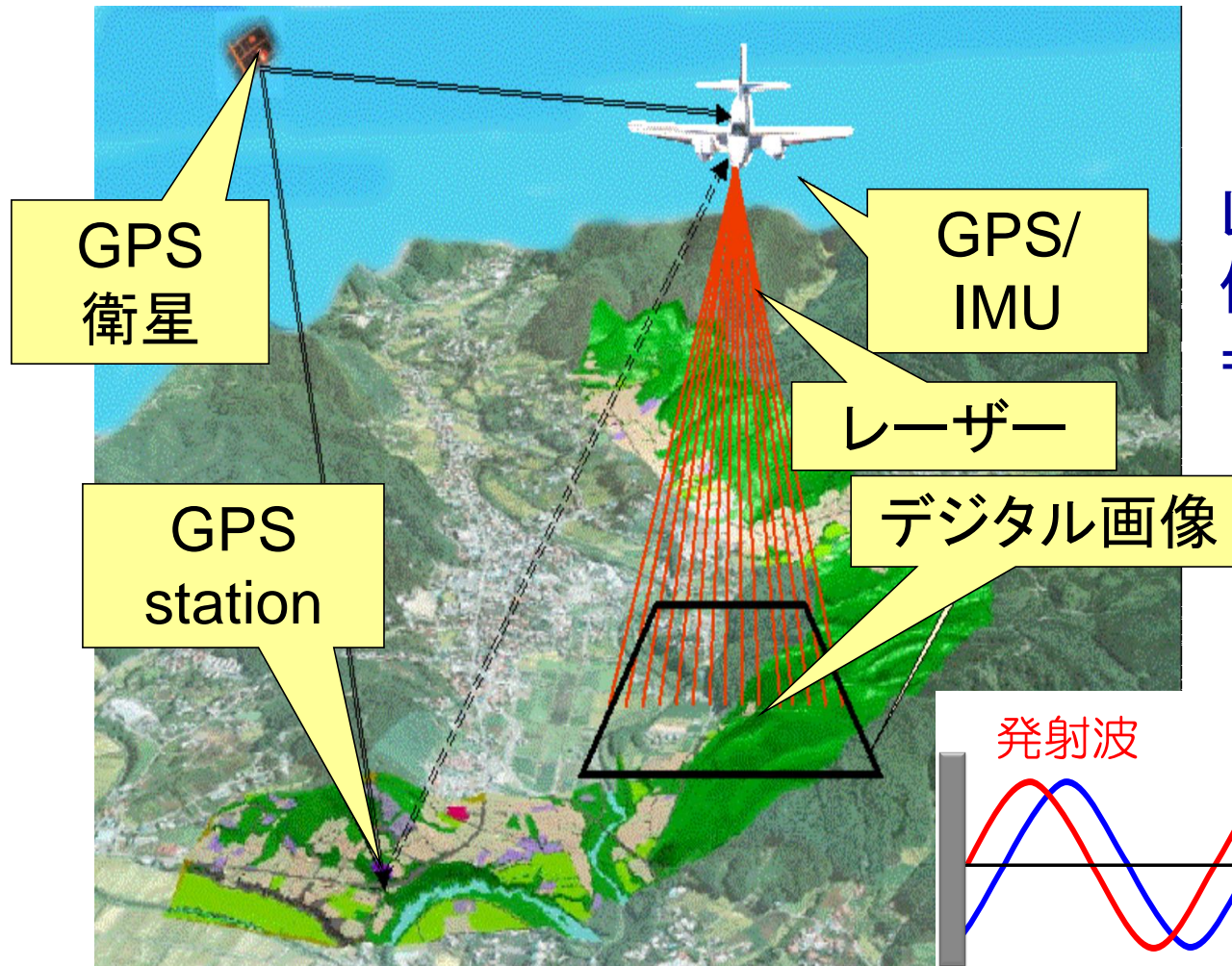
※1 航空写真を地図と重ね合わせて表示できるように変換した画像

※2 撮影条件(飛行コース数、計測点密度等、衛星軌道等)や製品によって大きく変動するため、一概に面積単価にはできない

## 3-3 レーザ

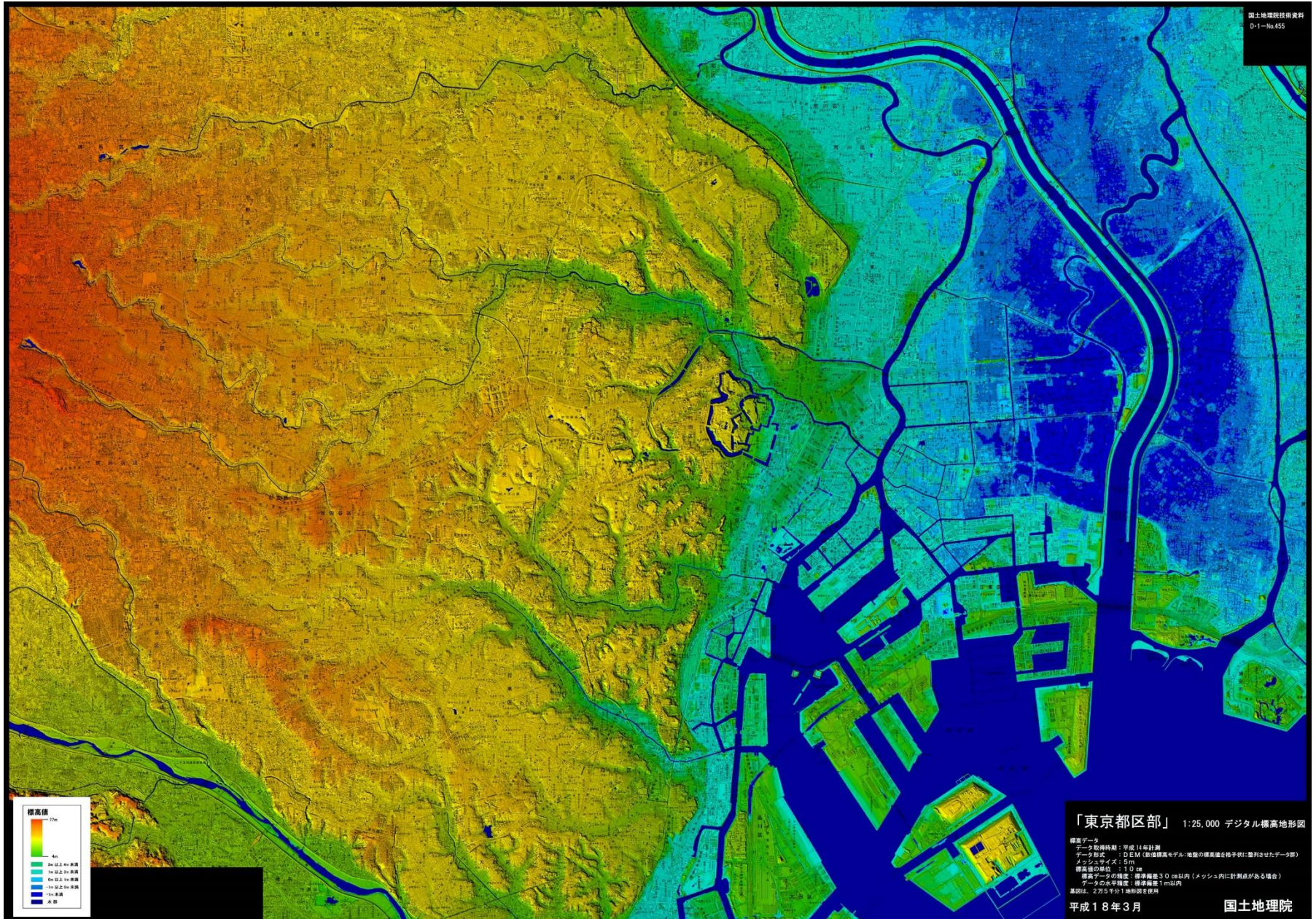
計測対象にレーザー光を発射  
反射光を受光盤で捉えて往復時間(位相差)を計測

➡ 距離測定

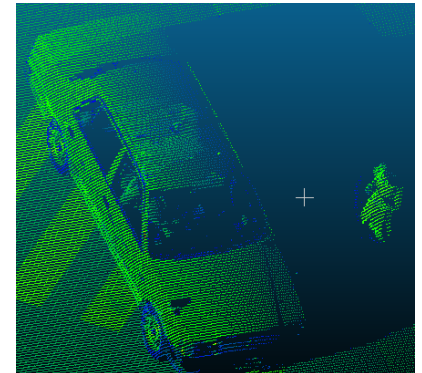
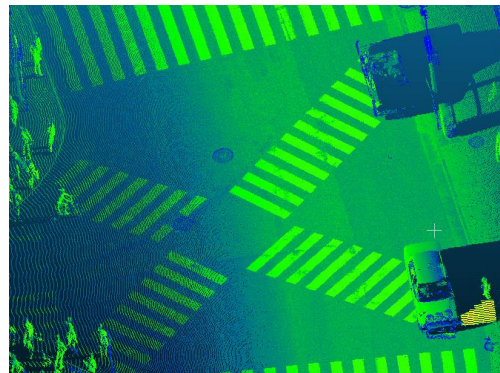
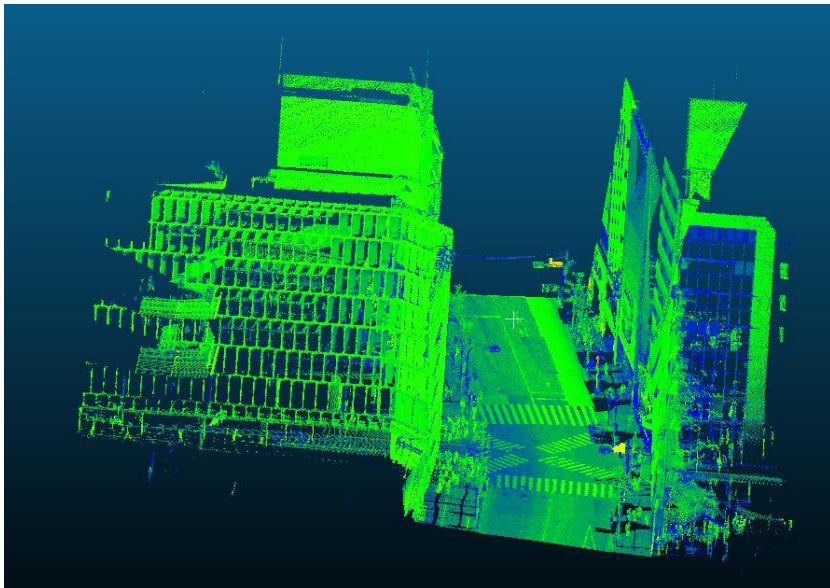
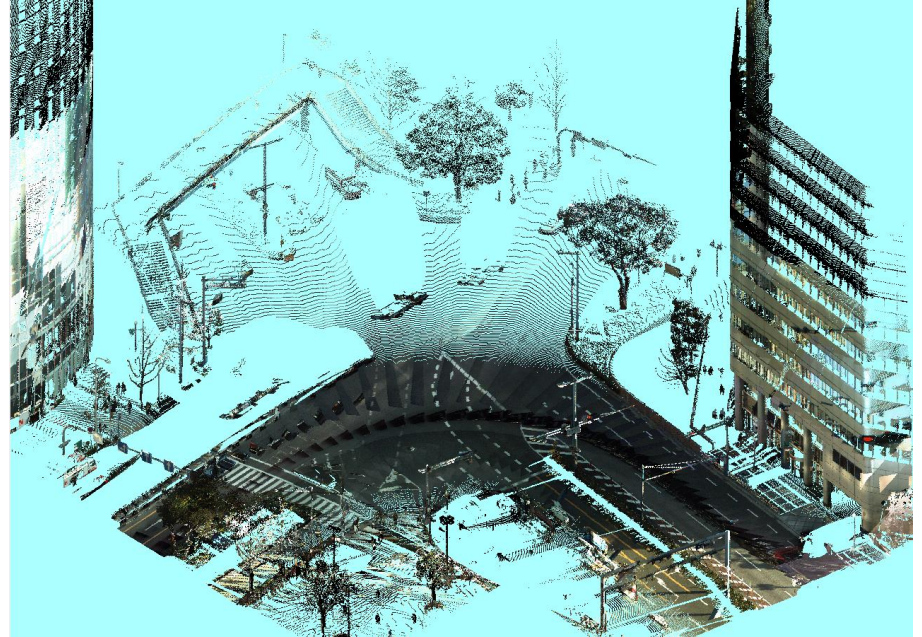


レーザー装置の  
位置と姿勢  
⇒3次元計測

# 3-3 レーザ デジタル標高地形図



## 3-3 レーザ MMS(Mobile Mapping System)



# 【国土交通省資料】MMSによる測量成果の検証結果

- MMSで撮影した写真のみでは全ての標定点標識は判読できないため、地上法による測量等の追加作業が必要
- 地図情報レベル500(縮尺1/500)の精度(水平位置精度25cm)は有するが、大都市部で求められる甲1(平均二乗誤差2cm、公差6cm)の精度確保は困難
- 追加作業が必要となることや機材費など、費用面でも課題であるが、道路幅員や障害物の状況次第で、作業が効率的に行える地域は存在

## MMSによる測量成果の精度等検証結果

・平成26年度、MMSによる測量成果と過年度に行った現行の地上法による測量成果の比較検証を実施。

標定点の取得個数	・MMSで撮影した写真により取得できた標定点標識等の個数は、地上法での測量時に使用した個数に比べて、最大50%という結果。取得率が低い路線ほど、現地確認や地上法による測量を追加的に行う必要が生じる。
精度	・MMS法により取得した標定点の座標と地上法により取得した座標を比較検証した結果、地図情報レベル500の精度(水平位置精度25cm)は有するが、国土調査法施行令別表第4に示す精度のうち、甲1の精度確保は難しい。
費用	・MMS法による測量は、MMSに係る費用に加えて、補足的に行う地上法による測量費用が加算される。また、車両及びMMS機器の減価償却費が必要となる。



標定点(境界標識や基準点等)の例  
※写真により判読が難しい場合には目印を設置

## 地籍調査の精度区分

精度区分	筆界点の位置誤差	
	平均二乗誤差	公差
甲一(大都市の市街地)	2cm	6cm
甲二(中都市の市街地)	7cm	20cm
甲三(上記以外の市街地及び村落並びに整形された農用地区)	15m	45cm
乙一(農用地及びその周辺の区域)	25cm	75cm
乙二(山林及び原野並びにその周辺の区域(乙三に掲げる区域を除く))	50cm	150cm
乙三(山林及び原野のうち特段の開発が見込まれない区域)	100cm	300cm

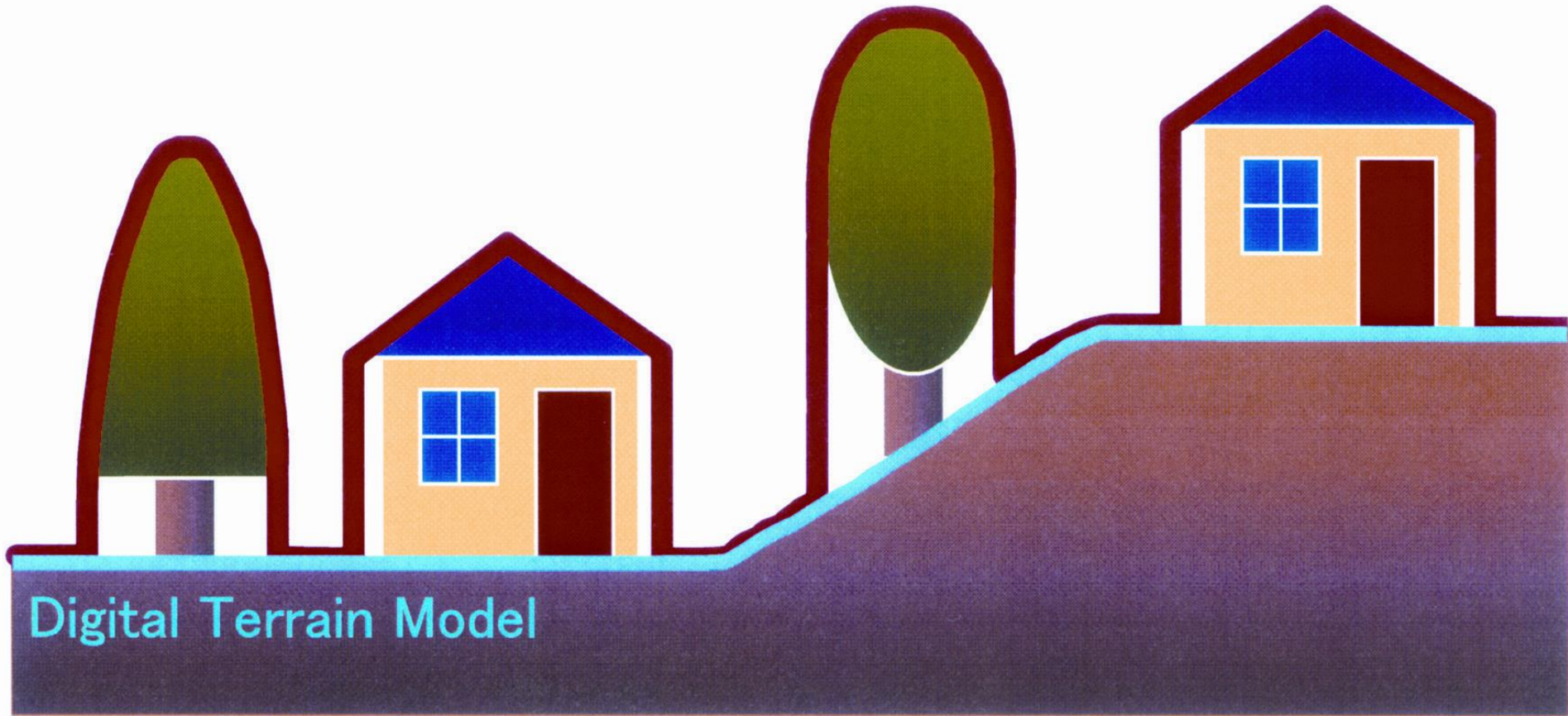
## 【作業が効率的な地域条件】

- ・6mまでの幅員が狭い道路は1度の走行で両側の標定点を計測可能。
- ・街路樹や路肩駐車など、標定点判読の支障となる障害物が少ないと、現地作業も減少。



## 3-4 DSMとDEM

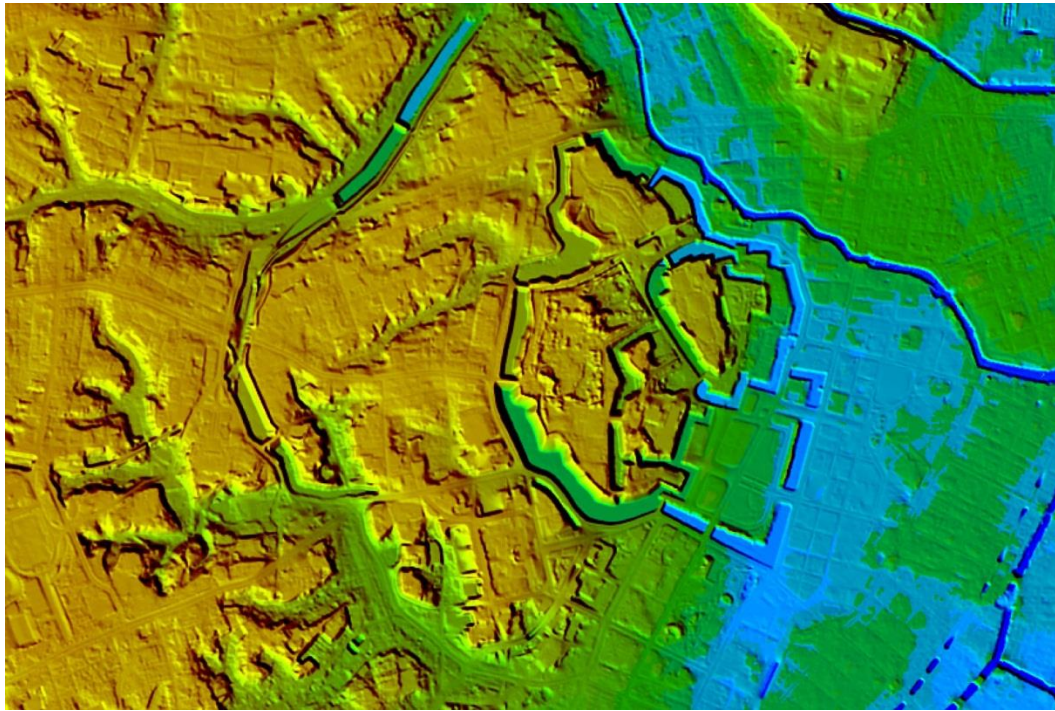
Digital Surface Model



DTM: 地盤高を表現したモデル

DSM: 地物の標高を表現したモデル

DTM



DSM



標高値



- 3m 以上 4m 未満
- 1m 以上 3m 未満
- 0m 以上 1m 未満
- 1m 以上 0m 未満
- 1m 未満
- 水部

# 様々な測量システム(再掲)

プラットフォーム	衛星	飛行機・ヘリコプター	ドローン・UAV	車両(MMS)
センサ・取得データ	光学センサ・画像	光学センサ・画像	光学センサ・画像	光学センサ・画像
		レーザ・3次元点群	レーザ・3次元点群	レーザ・3次元点群
画像の解像度(観測幅)	0.31m～(13.1km)	数cm～	数cm～	数cm～
点群密度		4点/m <sup>2</sup> ～		
備考	レーダ レーザ 軌道 超小型衛星	旧航空写真の蓄積多数あり	無人飛行 安価・簡便	衛星測位の精度に依存

## 4. 衛星 軌道について

### □ 同期軌道

- 1日に地球を1周して同一地点へ戻る(静止軌道もこの一種)

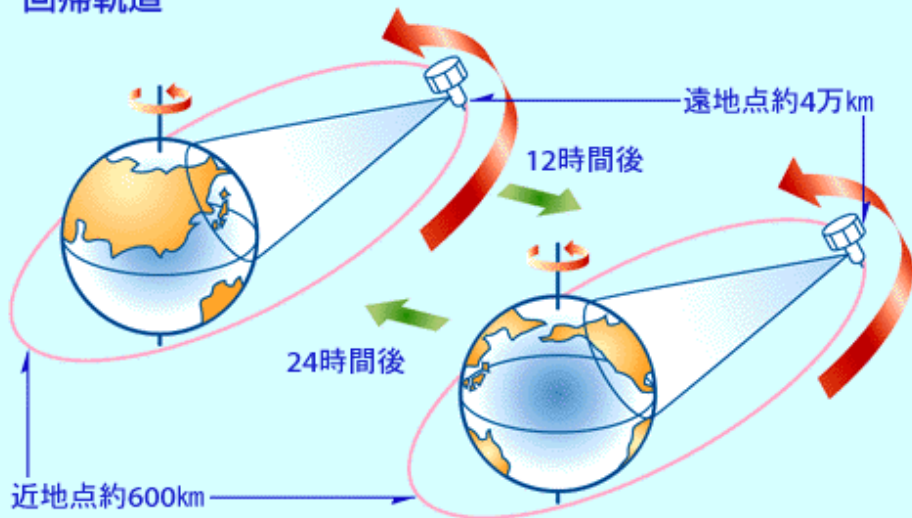
### □ 回帰軌道

- 1日に地球を数周して同一地点に戻る(整数回)

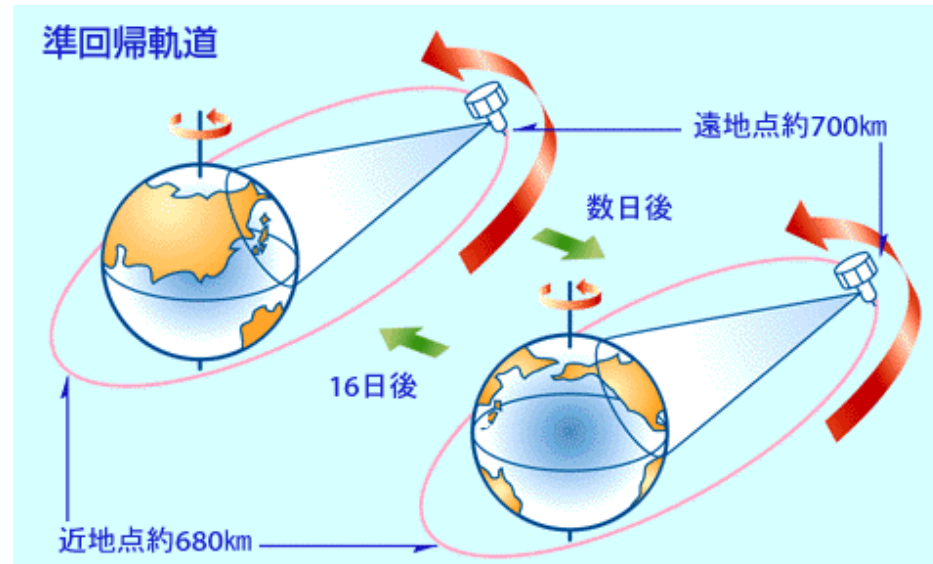
### □ 準回帰軌道

- 1日に地球を数周して数日後に同一地点に戻る

回帰軌道



準回帰軌道

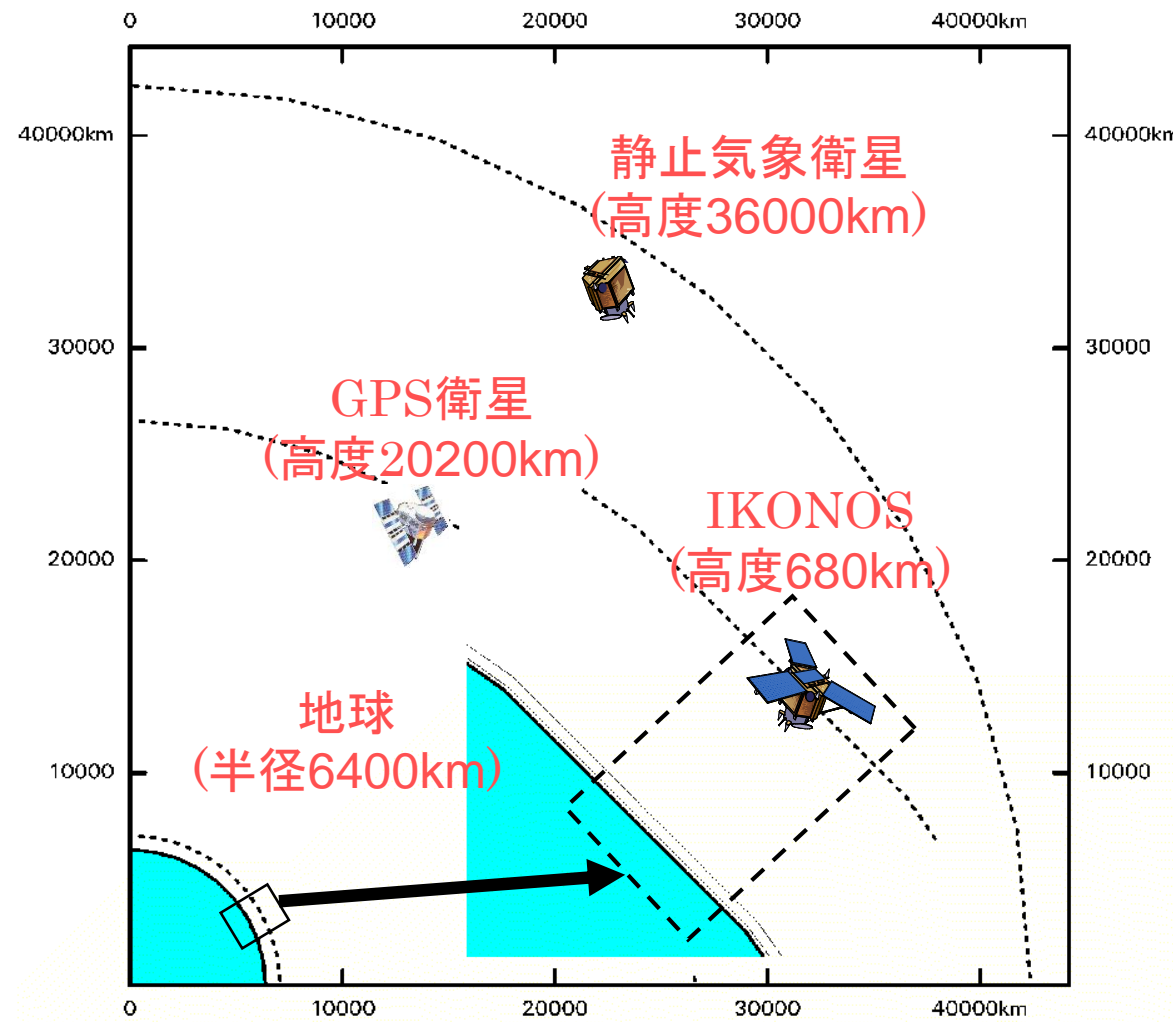
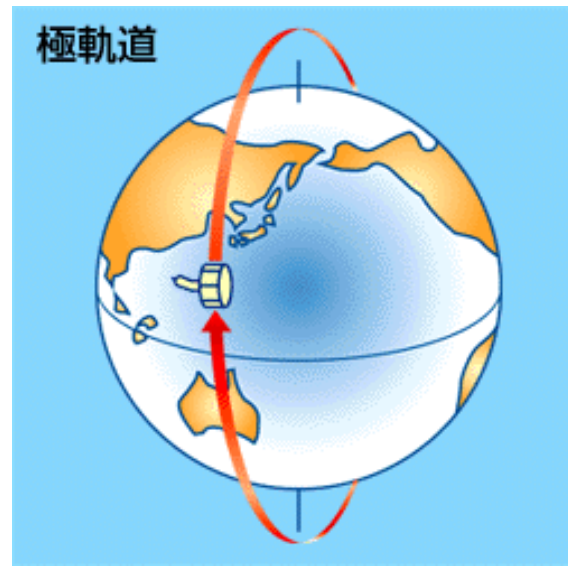


# □ 極軌道

- 軌道傾斜角(赤道を横切る角度)が $90^\circ$  , またはそれに近い軌道
- 多目的な地球観測衛星

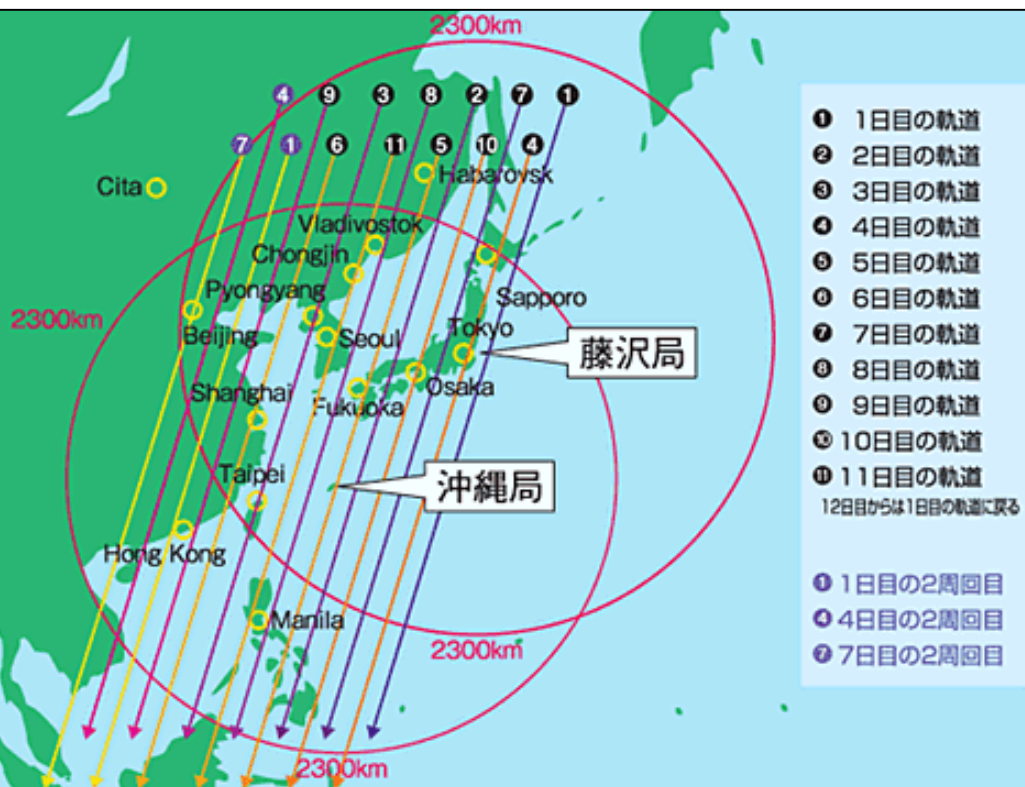
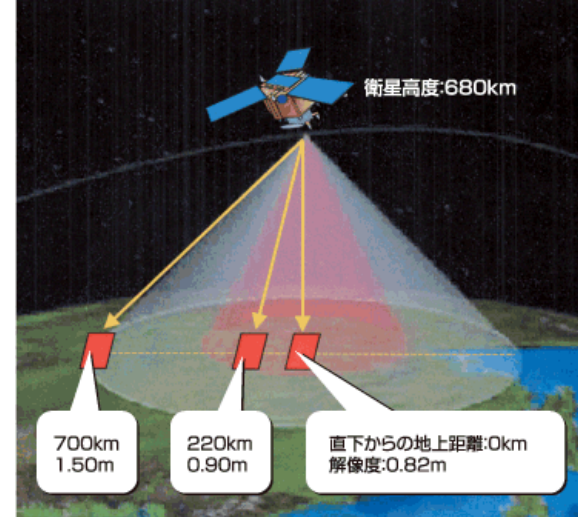
# □ 赤道上空の静止軌道

- 気象衛星



衛星の軌道高度

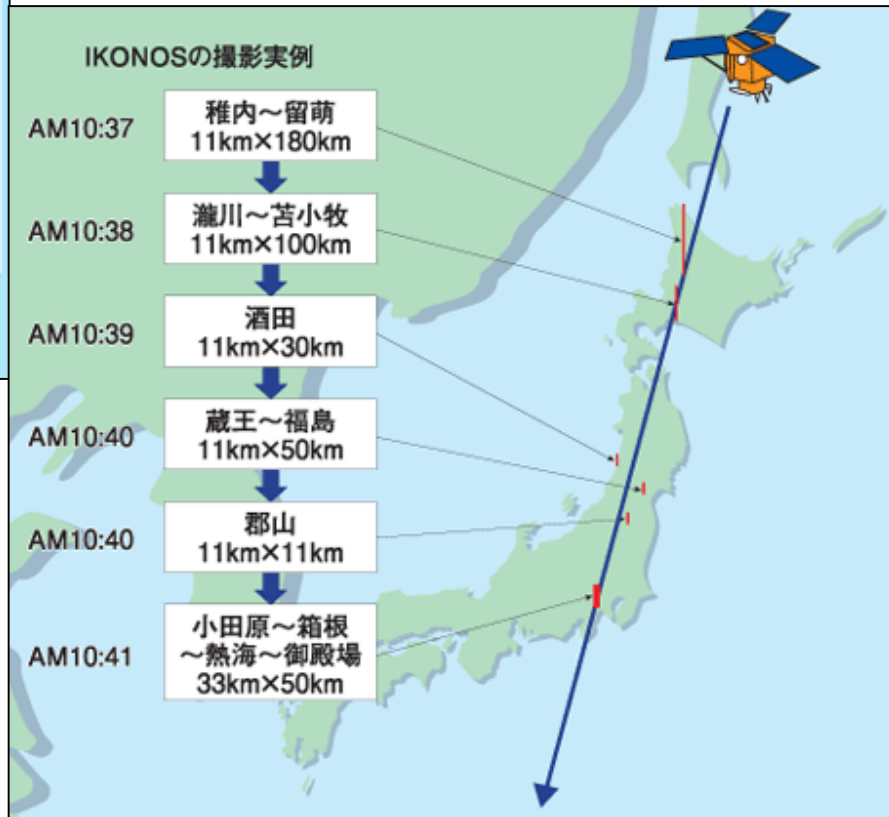
# 4. 衛星 高分解能衛星IKONOS



日本周辺は午前10時台に撮影

11日でほぼ同じ軌道に戻る

cf. 超小型衛星



# 様々な測量システム(再掲)

プラットフォーム	衛星	飛行機・ヘリコプター	ドローン・UAV	車両(MMS)
センサ・取得データ	光学センサ・画像	光学センサ・画像	光学センサ・画像	光学センサ・画像
		レーザ・3次元点群	レーザ・3次元点群	レーザ・3次元点群
画像の解像度(観測幅)	0.31m～(13.1km)	数cm～	数cm～	数cm～
点群密度		4点/m <sup>2</sup> ～		
備考	レーダ レーザ 軌道 超小型衛星	旧航空写真の蓄積多数あり	無人飛行 安価・簡便	衛星測位の精度に依存