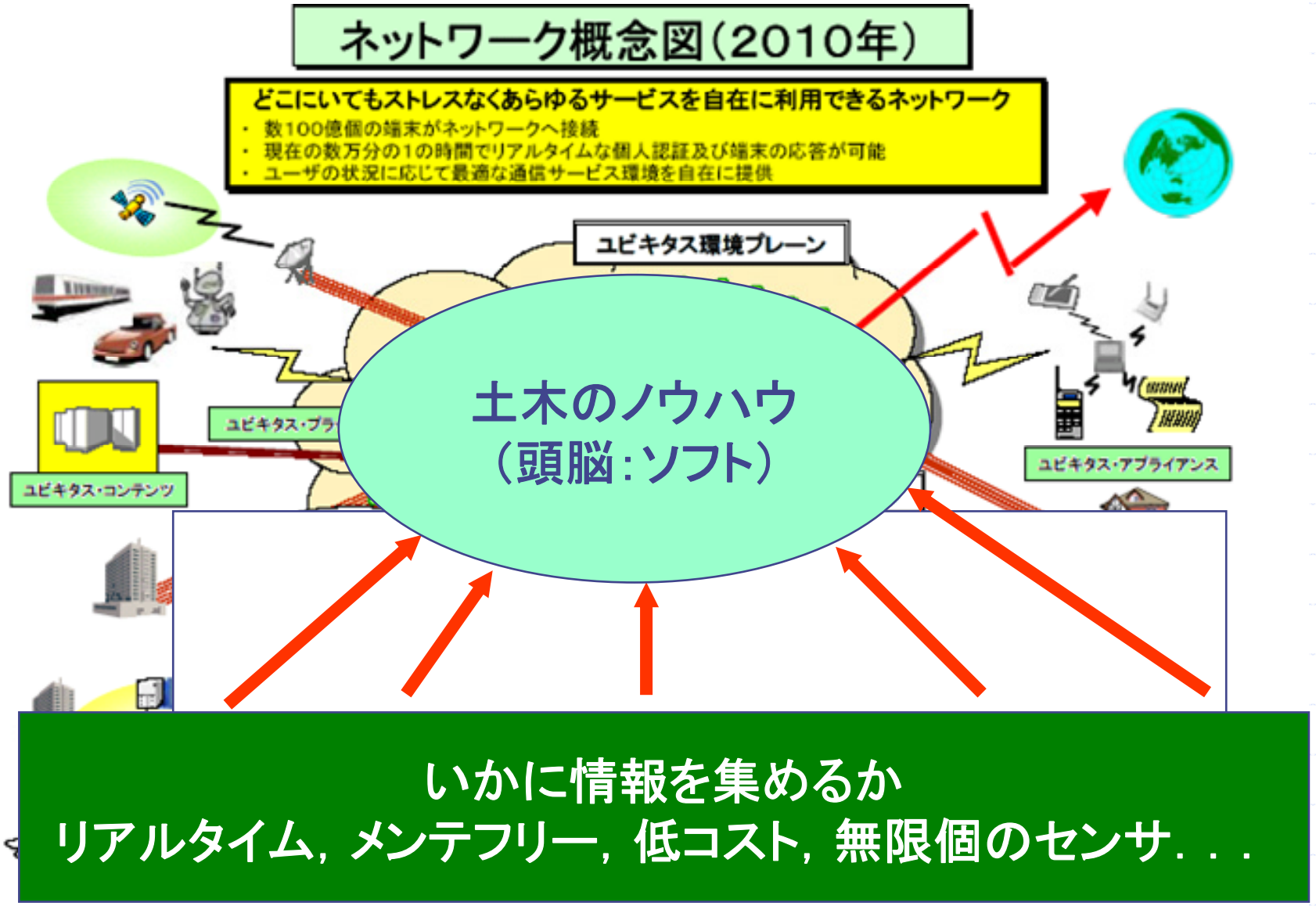
道路防災モニタリングネットワークシステムの構築

官：国土交通省　近畿地方整備局　近畿技術事務所
国土交通省　近畿地方整備局　紀南河川国道事務所
国土交通省　近畿地方整備局　兵庫国道事務所

産：株式会社地層科学研究所（幹事）
三菱電機株式会社

学：京都大学大学院工学研究科　都市環境工学専攻
ジオフロント環境工学講座

道路防災　－　“ユビキタス”の概念へ



総務省：ホームページより

3次元電子地図モデルを用いた
災害シミュレーション

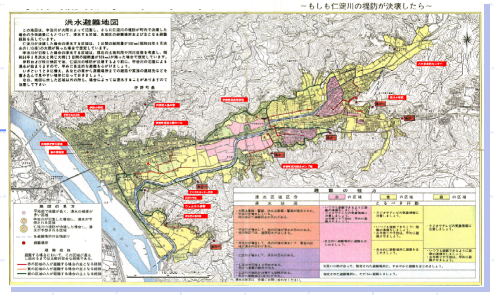
＋

道路防災モニタリングネットワーク
システムの構築

↓

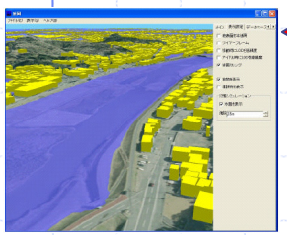
効率的なマネジメントを行うツールの作成
防災GIS

高精度３次元空間データが何故必要なのか？



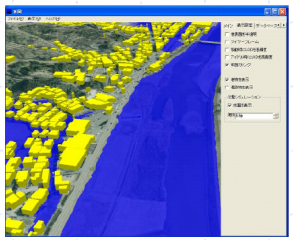
従来の洪水ハザードマップ例

3次元化



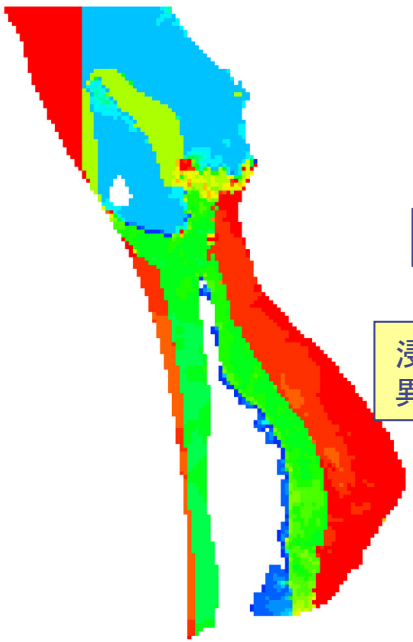
平常時

・ウォークスルーにより避難場所・避難　経路を確認
・ハザードマップ更新
・避難場所・病院等の空間検索・表示

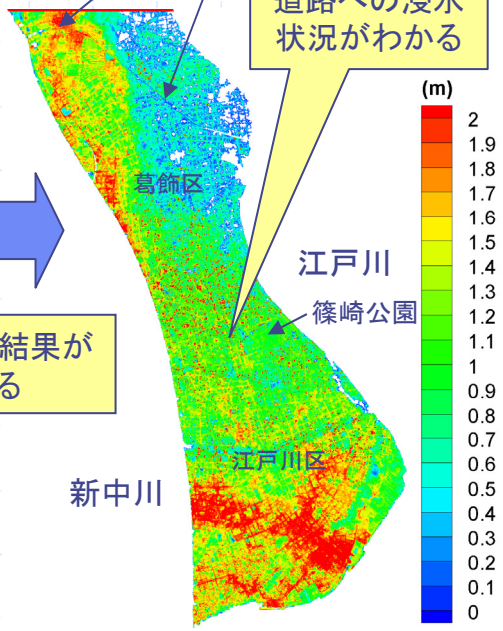


災害時
・被害情報の入力・表示
・雨量・水位等の監視情報の表示
・避難場所・病院の収容デー　タ表示

氾濫水入射



浸水結果が異なる



従来の50mDEM
を用いたシミュレーション
による浸水深分布

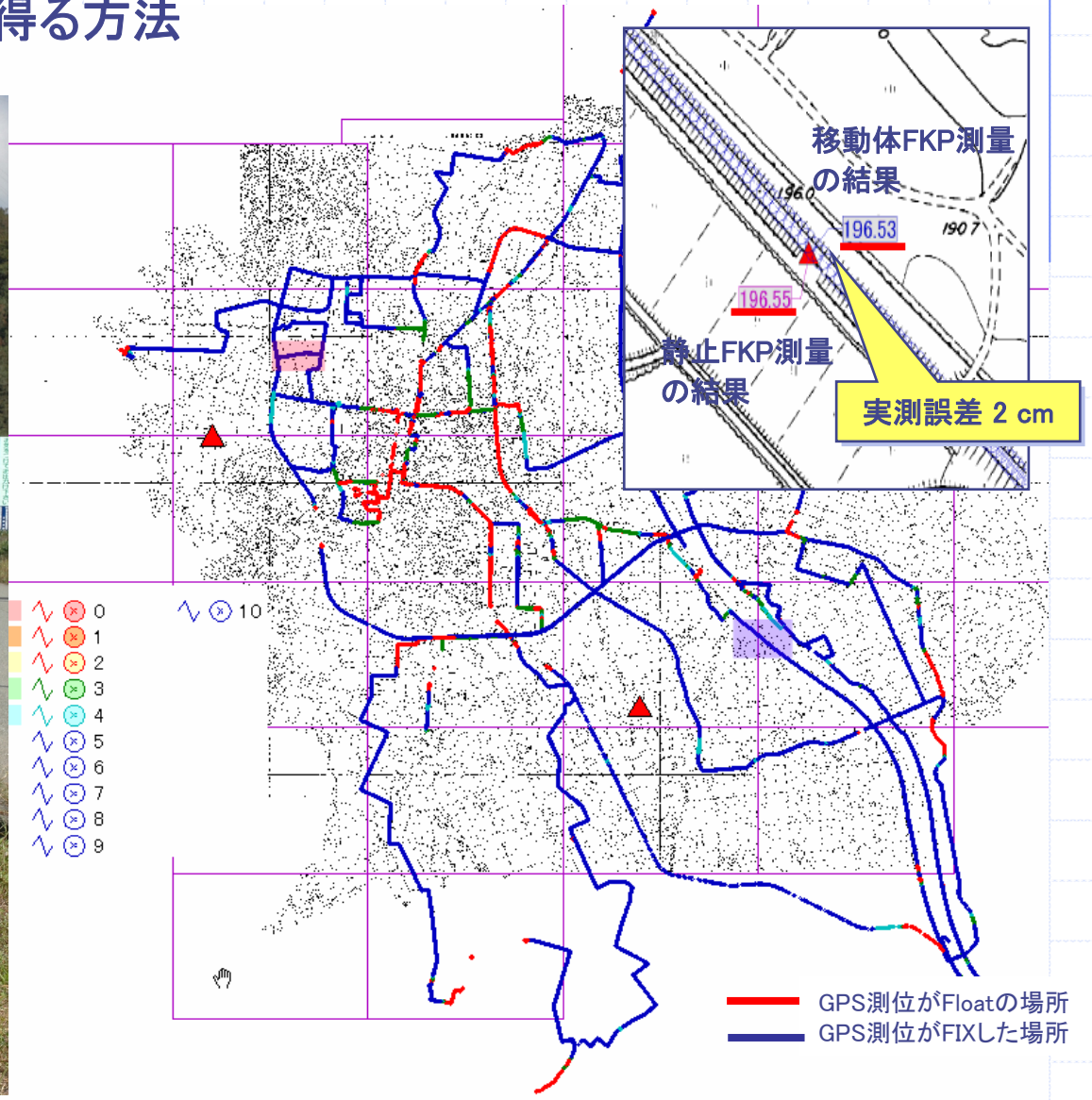
20cmDEMを用いたシミュレーション
による浸水深分布

5mDEMによる洪水氾濫シミュレーションの例
カスリーン台風(1947)模擬

移動体測量実施例

高精度GPS受信機及び空中レベル計を車両に搭載して走行し、地区補正パラメータ(FKP)を利用して、座標値を得る方法

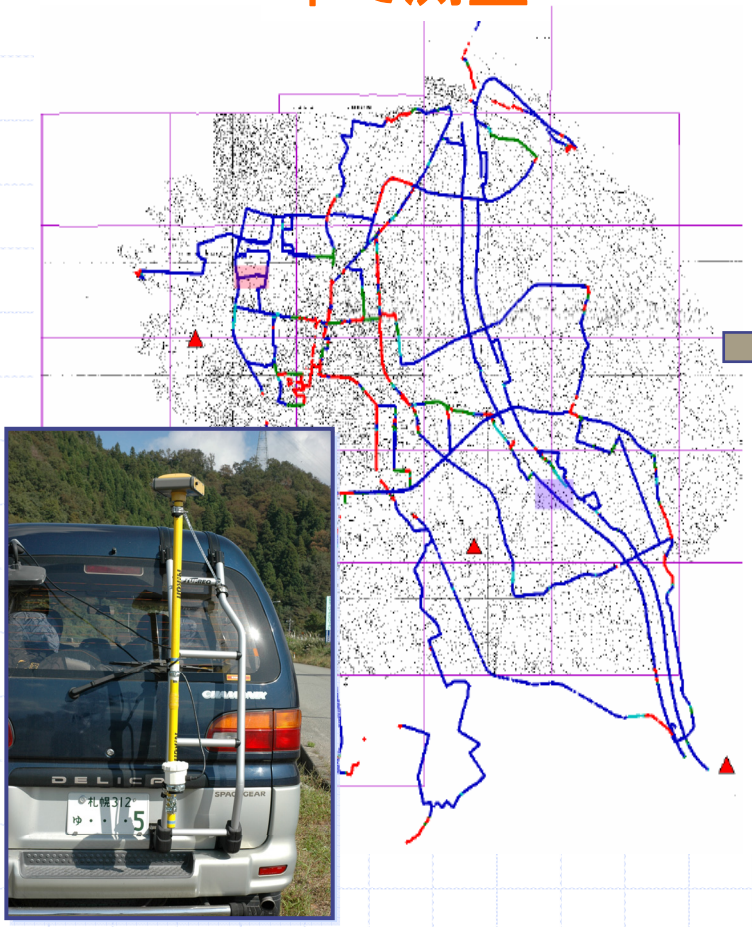




現有の航空測量を活かした高精度3次元電子地図作成

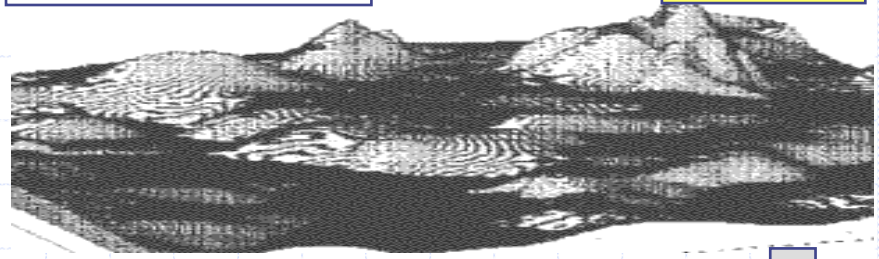
精密な絶対標高値にて、航空測量データを補正し、高精度データに変換

車で測量



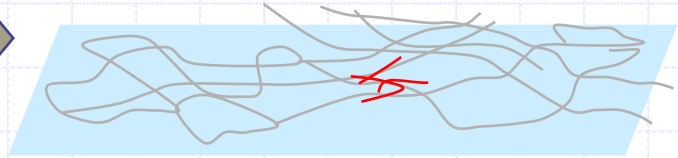
航空測量データ

誤差大



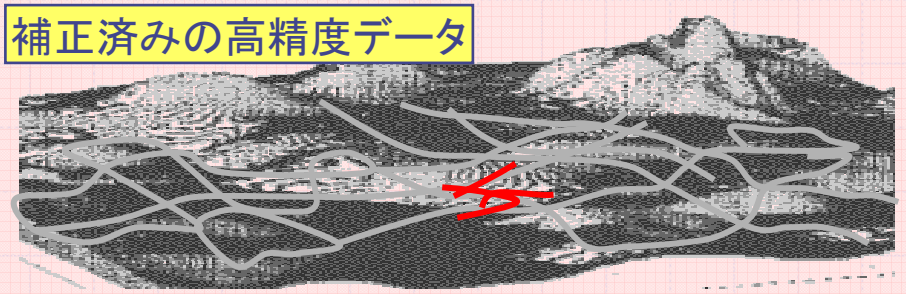
移動車FKP測量データ

高精度



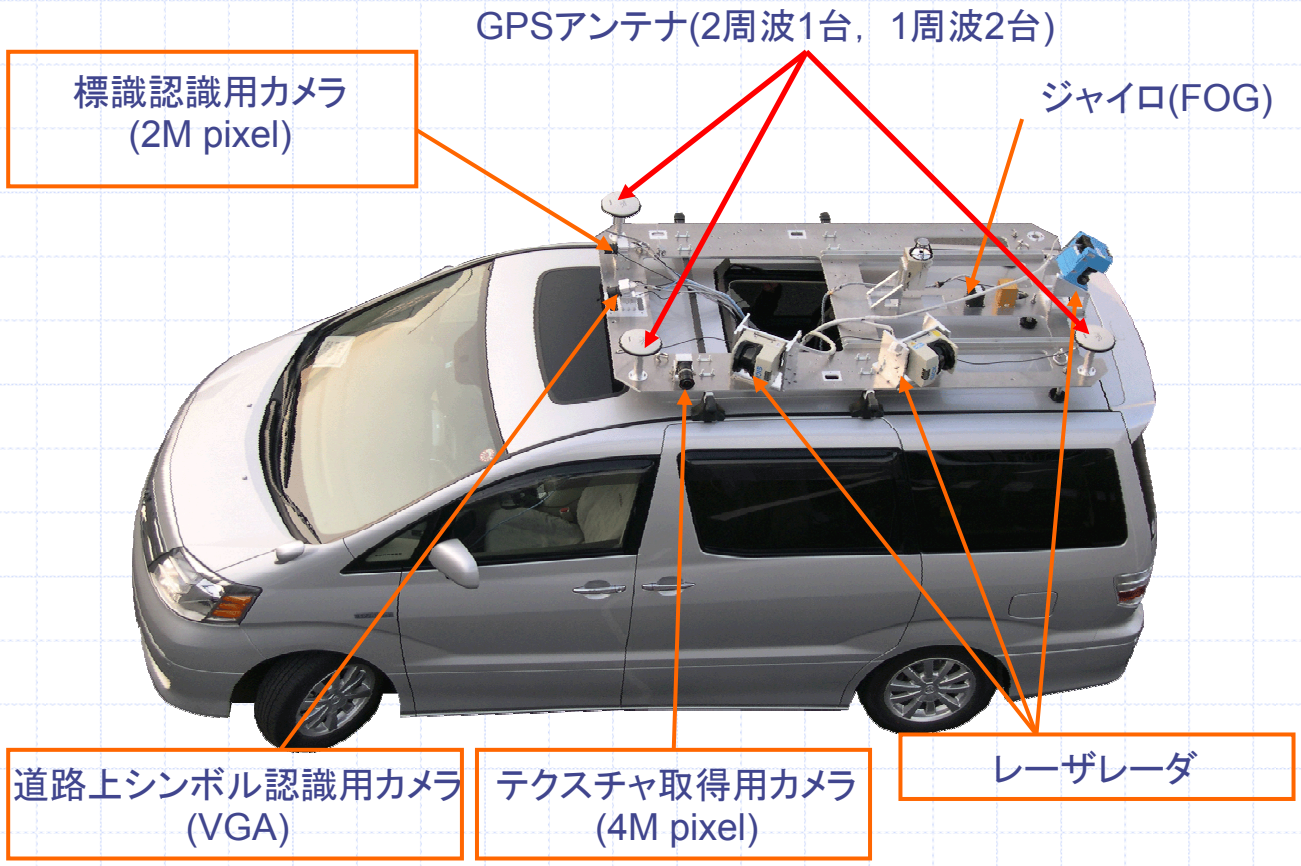
“アッ”という間に高精度の地図

補正済みの高精度データ



移動体測量例:MMS（モービルマッピングシステム）

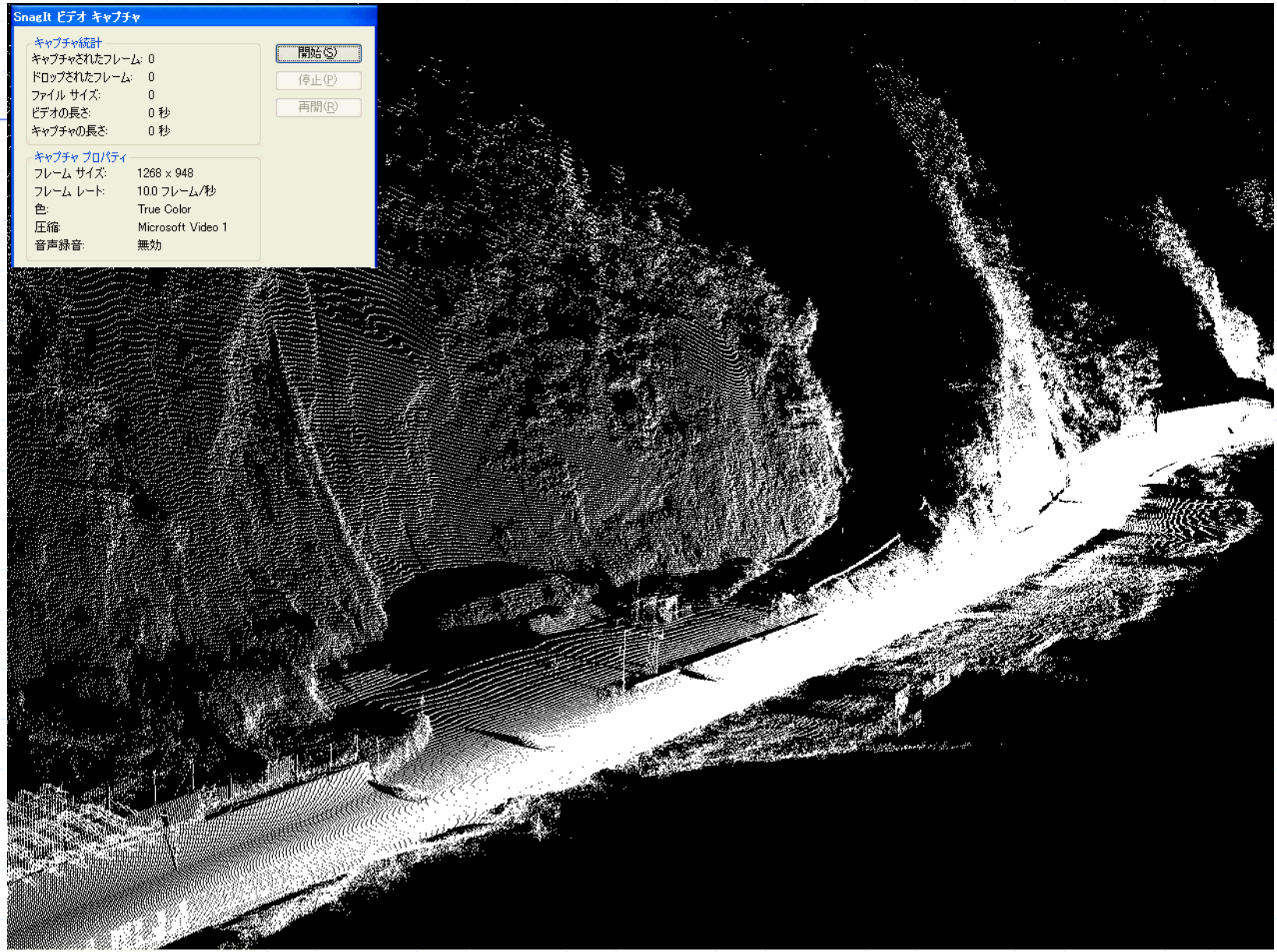
高精度GPSと全周カメラやレーザレーダを備え、位置に同期した周囲360度の映像や周囲の3次元モデル等を走りながら取得出来るモービルマッピングシステムを開発。
カーナビ等で用いられる白線位置や標識位置を含んだ高精度3次元地図作成や大規模災害時の災害査定等の大幅な効率化を実現。



計測できるデータ

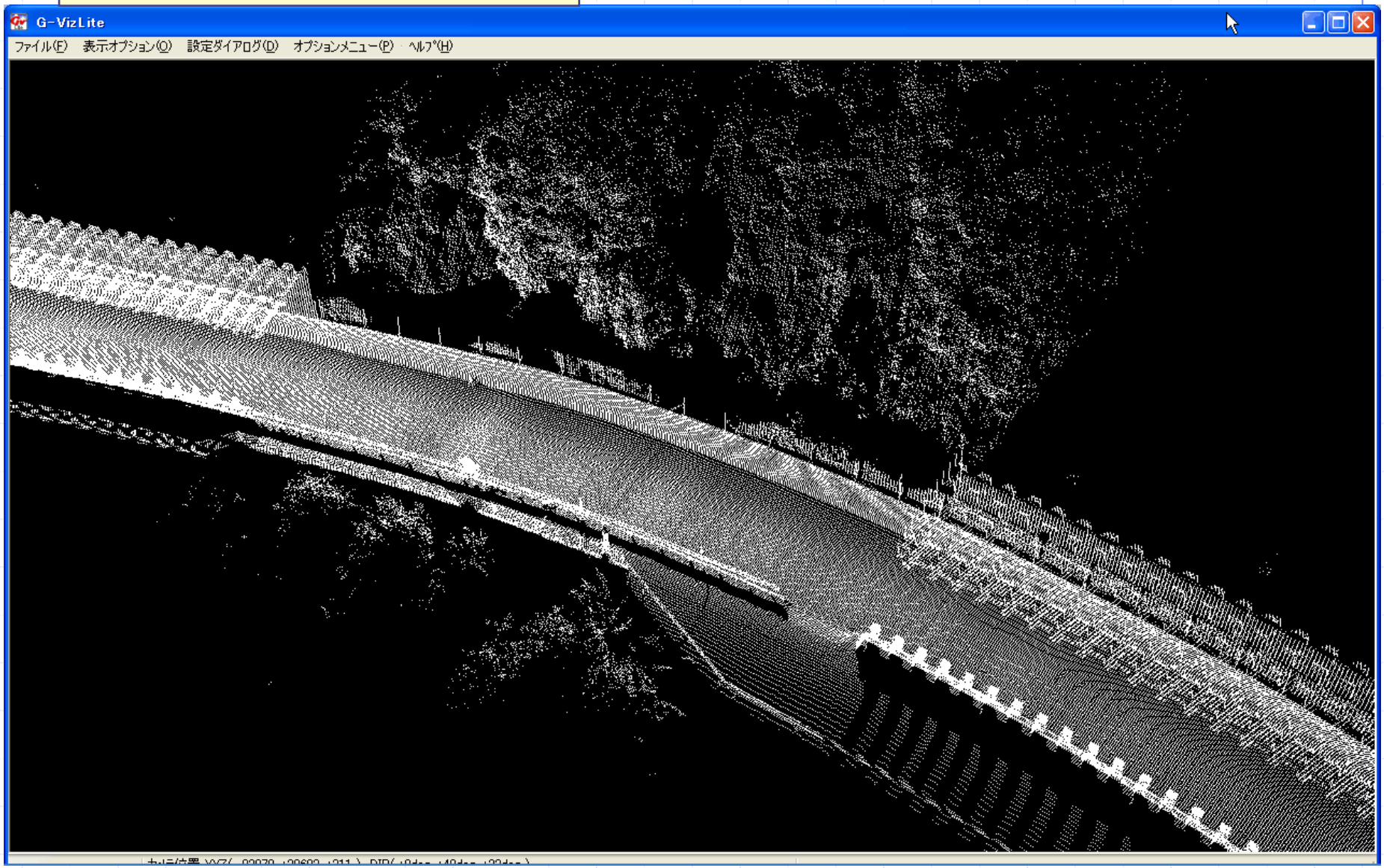


レーザー計測例


SnagIt ビデオ キャプチャ
キャプチャ統計
キャプチャされたフレーム: 0
ドロップされたフレーム: 0
ファイル サイズ: 0
ビデオの長さ: 0 秒
キャプチャの長さ: 0 秒
キャプチャ プロパティ
フレーム サイズ: 1268 x 948
フレーム レート: 10.0 フレーム/秒
色: True Color
圧縮: Microsoft Video 1
音声録音: 無効
開始(S)
停止(P)
再開(R)

レーザー計測例

地山地形との接合



道路面計測例



3次元電子地図の利用

“現在” を監視する

監視カメラによる河川管理施設・河川空間の監視

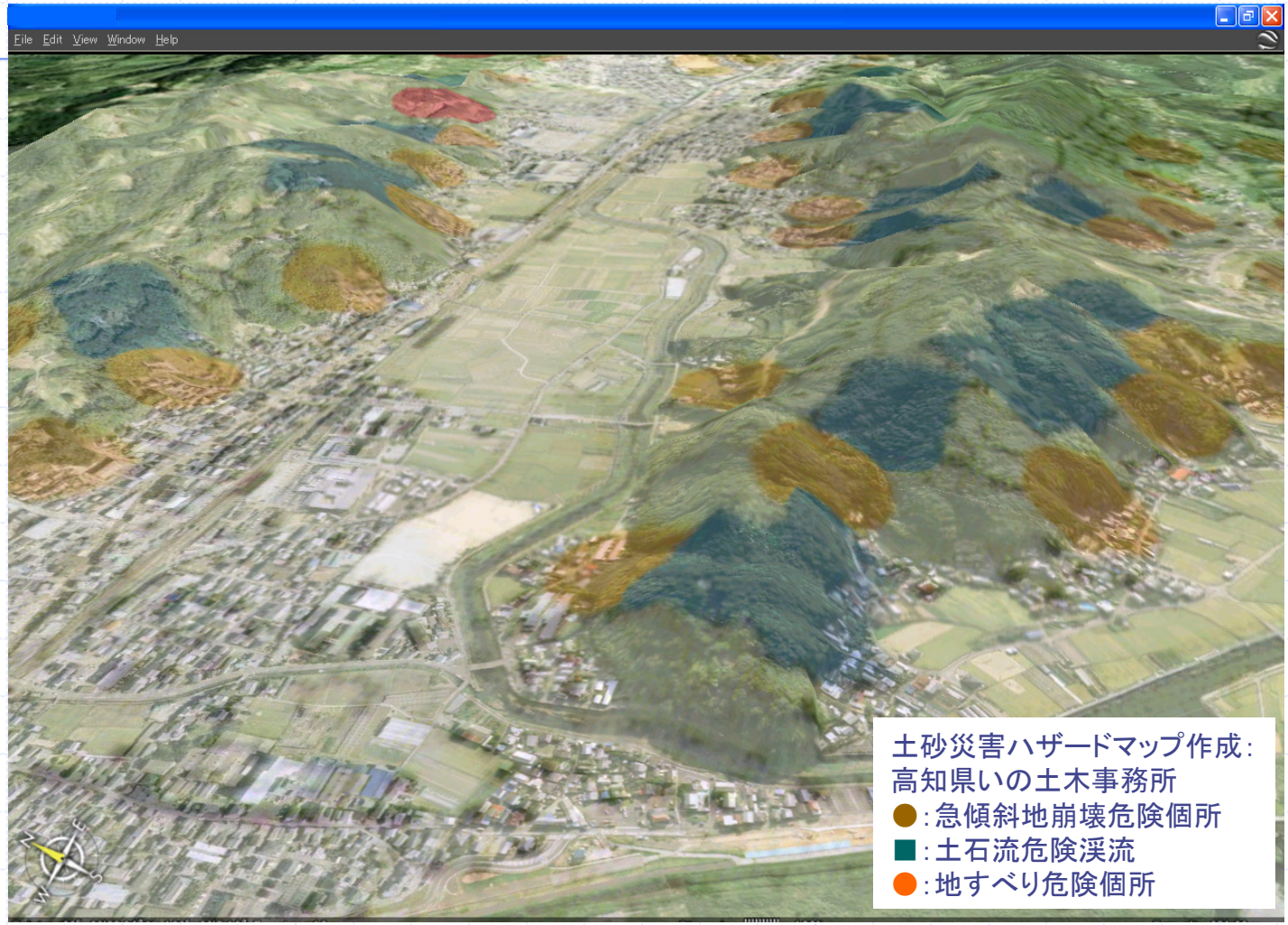


註：カメラの位置はダミー

3次元電子地図の利用

“被害” を予測する

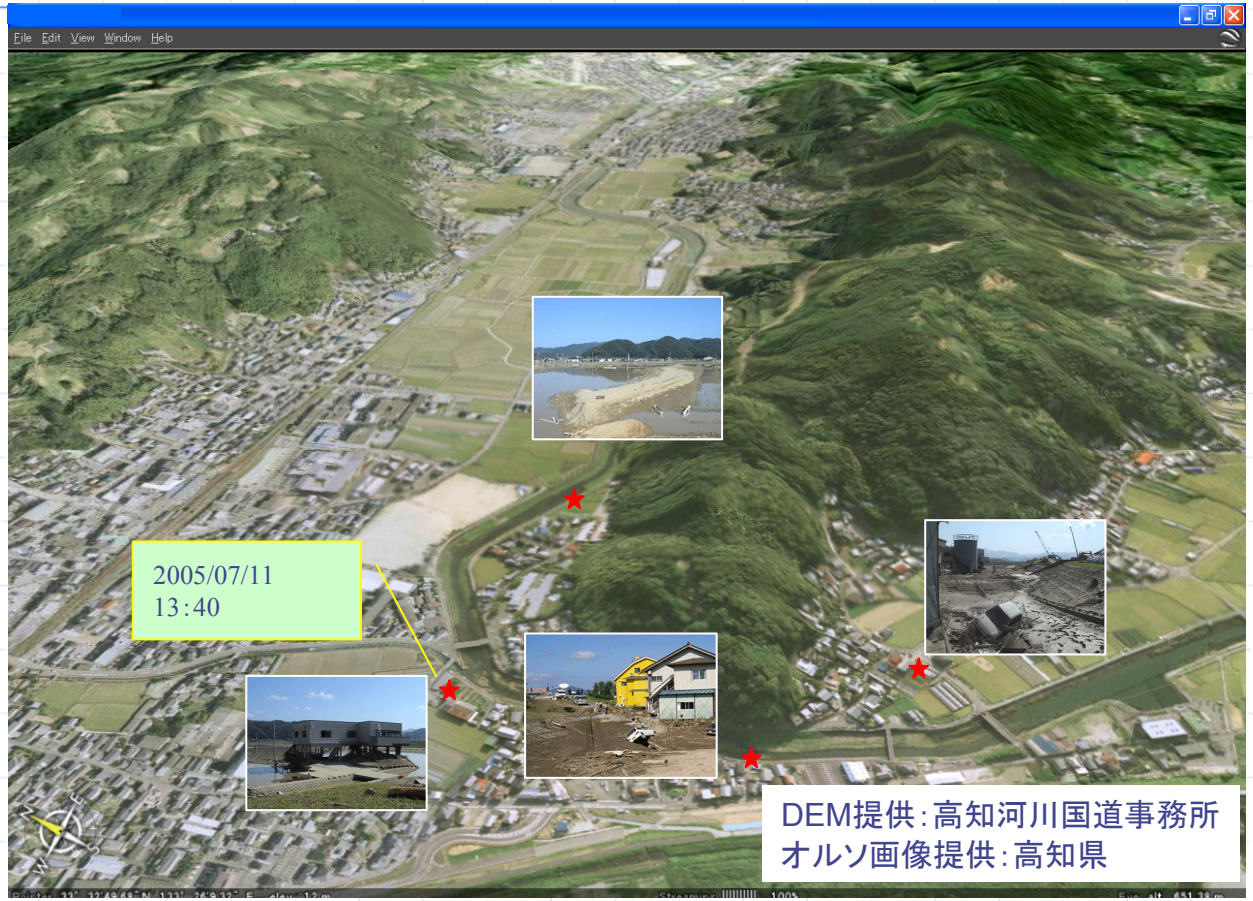
土砂災害ハザードマップの重畳（3次元表示）



3次元電子地図の利用

“被害” を把握する

現地被害写真の貼付と位置時間証明



3次元電子地図の位置づけ

・3次元電子地図：それ自体が道路管理に使うツール

＋

・いま，どこで，何が起きているのかを瞬時に把握するツール

↑

“ユビキタス”を実現するセンサの管理の困難さを克服する必要がある.

3次元電子地図モデルを用いた
災害シミュレーション

＋

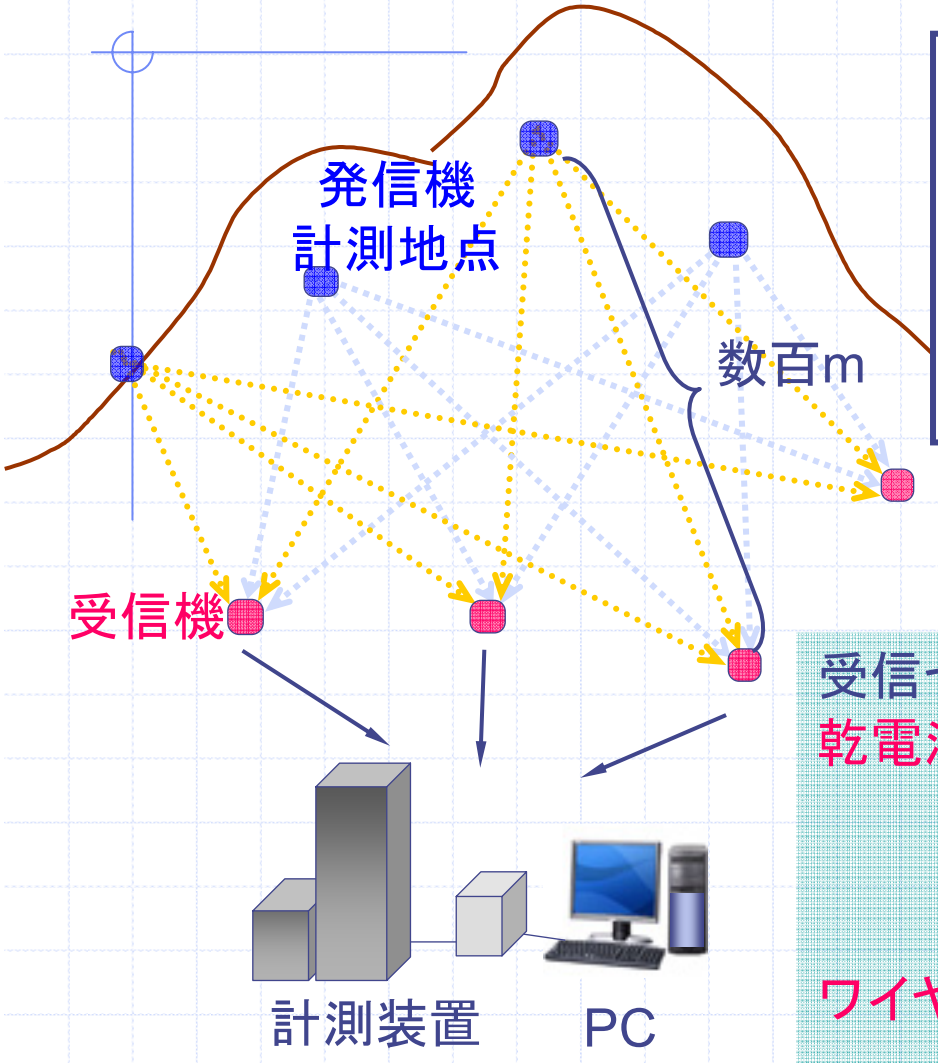
**道路防災モニタリングネットワーク
システムの構築**

↓

効率的なマネジメントを行うツールの作成
防災GIS

電波を使った新しい斜面計測法の提案

周波数2.45GHzの電波を用いて位相差から変位を計測



①計測地点に発信機を設置
②発信機からの電波を複数の受信機で受信
③受信機間に生じる電波の位相差から発信機の3次元変位を算出

受信センサと計測装置およびPCをシステム化
乾電池駆動：発信機、受信センサの小型、省力化



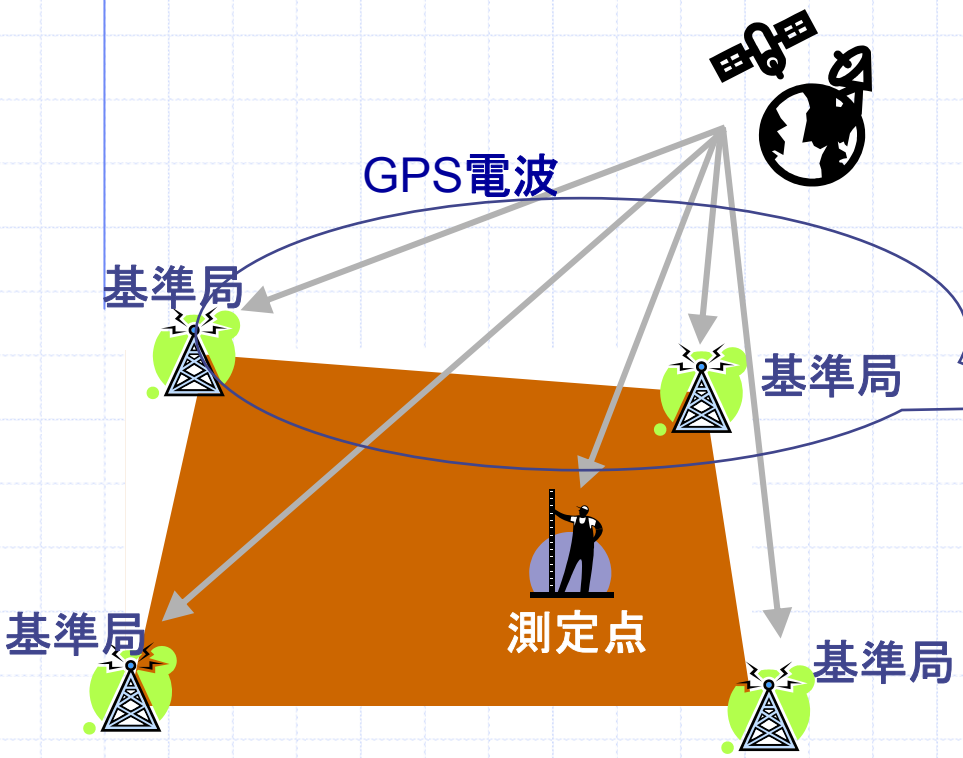

ワイヤレス化：受信機のデータを電波で飛ばし、中継局を通して事務所に送る。

電波を使った計測の利点（GPS計測の利点）

斜面モニタリングに電波を使うことのメリット

多数点の変位を同時に計測.　ワイヤレス（災害に強い）.

耐天候性良.　リアルタイムに計測



GPS

約26000km離れた衛星からの電波を受信する。

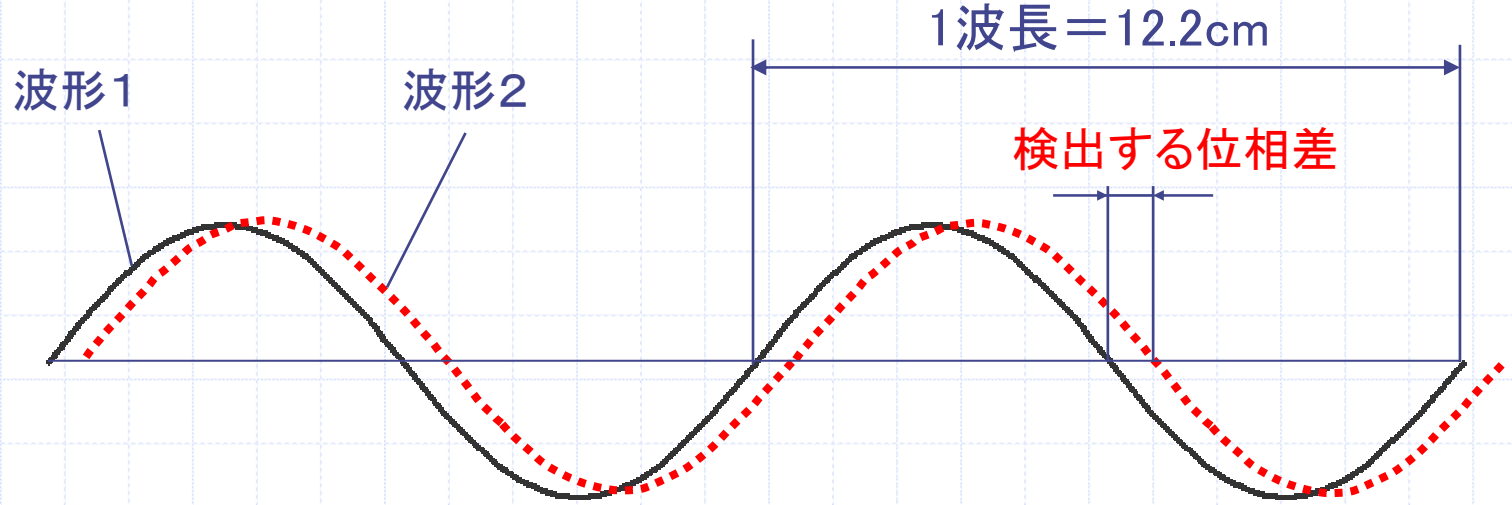
時計（衛星・受信機）のバラつき
衛星軌道誤差
対流圏による信号遅延
電離層による信号遅延
アンテナ位相中心
マルチパス

26000kmではなく数km間の電波を測れば高精度になる

変位計測原理

周波数2.45GHzの電波の位相差を観測して変位を測る。

$$波長 = \frac{光速}{周波数} = \frac{30万km/s}{2.45GHz} = 12.2cm$$



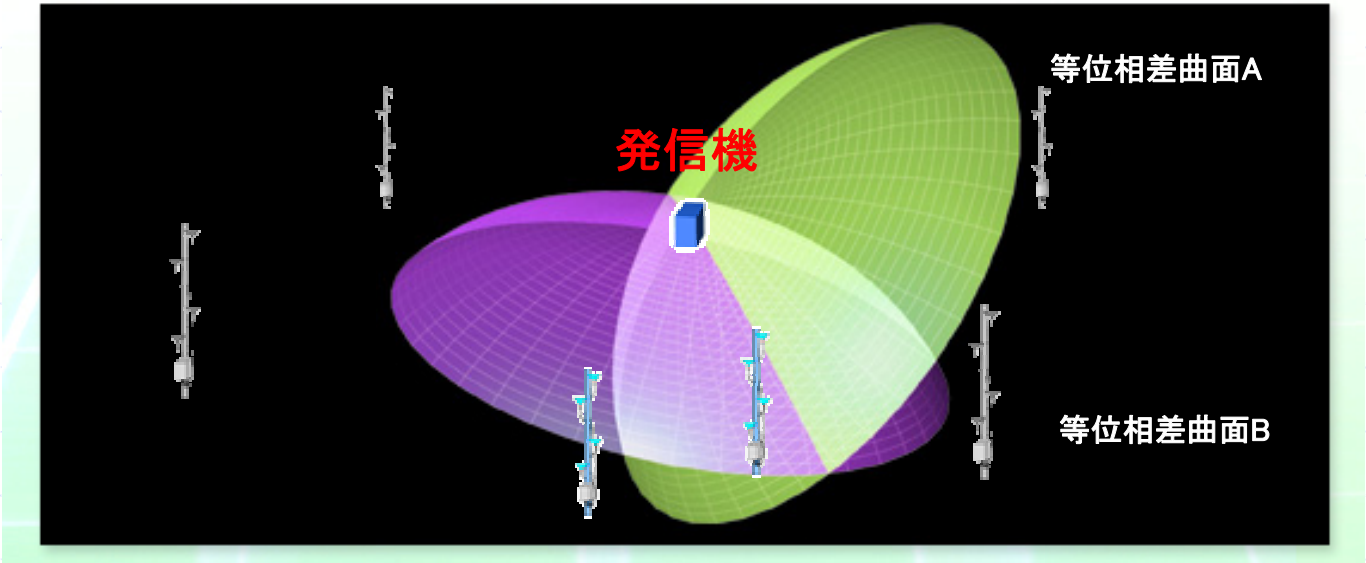
$$位相差1° = \frac{波長12.2cm}{360°} = 0.34mm$$

ミリメートル･オーダーの変位計測の実現の可能性を持っている

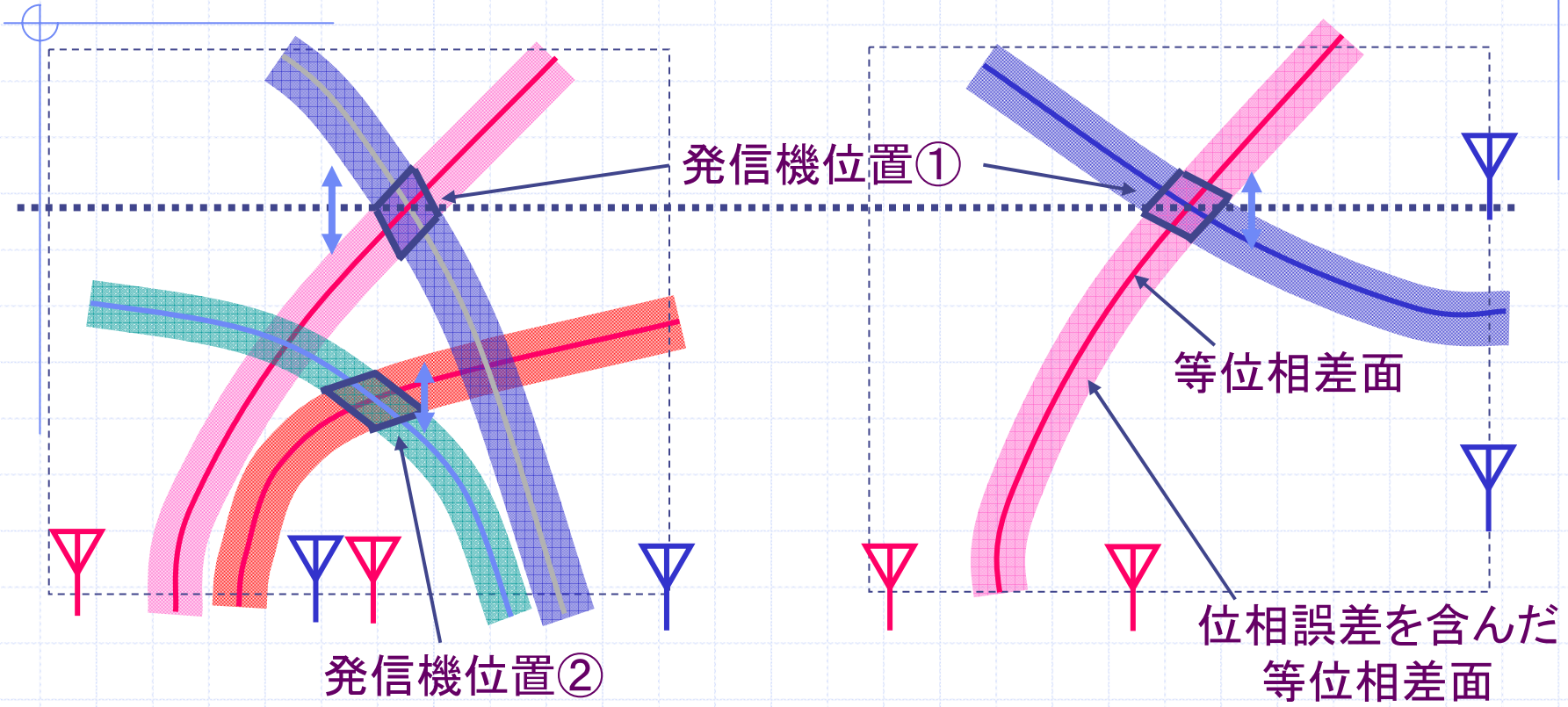
電波位相差を利用した計測とは

- 実際の計測では、1つの電波発信機の位置を、
  4つ以上の受信機を使い位相差を計測。

- 受信機から等距離差となる等位相差面の交点を算出し、
  三次元で発信機の位置を決定。



相対するハードウェア(発信機ー受信機)で計測する方法の特徴
： 幾何学的関係で計測精度が決定する

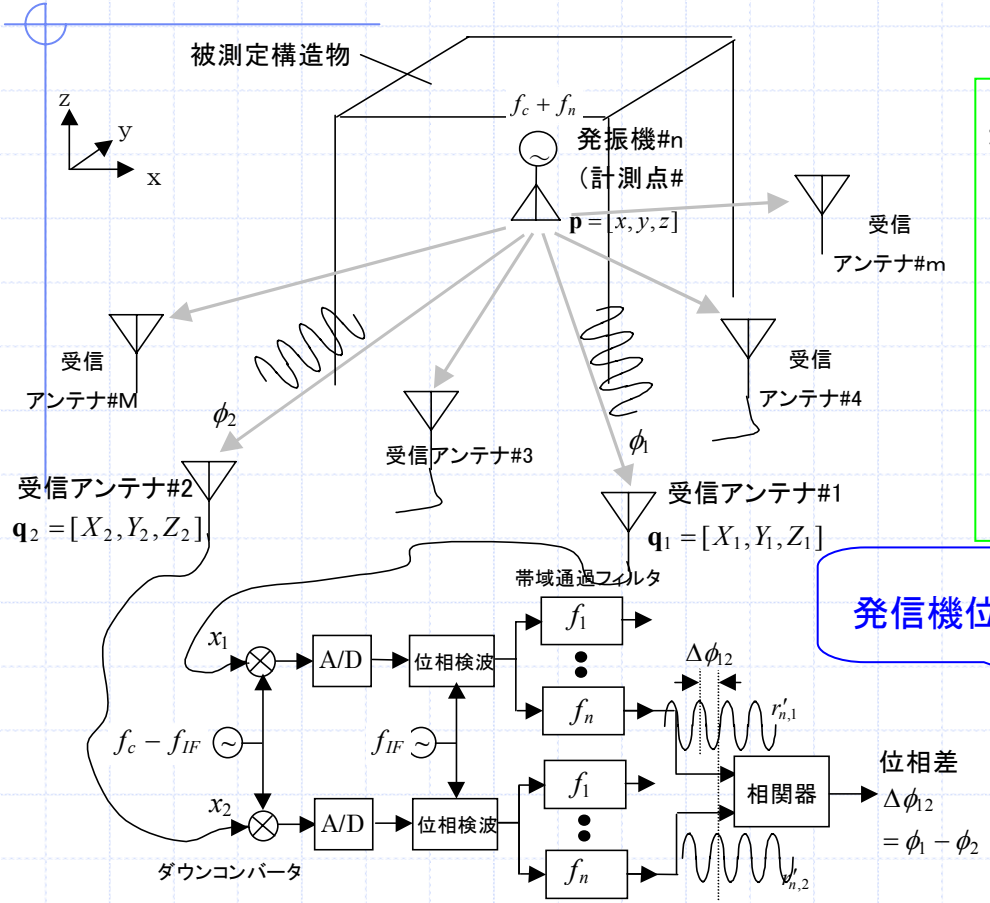


同センサの組み合わせでも、
発信機位置により誤差の
広がり(面積・方向)が異なる。

同じ発信機位置でも、
センサ配置により誤差の
広がり(面積・方向)が異なる。

電波位相差測位の基本原理

位相差測位法の基本原理



基本測位方式は受信アンテナ（センサ）数は４個

送信アンテナの位置 $\mathbf{p}=[x,y,z]^T$ に関する方程式を解く

$$\sqrt{(x-X_i)^2+(y-Y_i)^2+(z-Z_i)^2} - \sqrt{(x-X_j)^2+(y-Y_j)^2+(z-Z_j)^2} = \Delta r_{ij}$$

$$i,\ j = 1, 2, \cdots, M;\quad i \neq j$$

$$\Delta r_{ij} = \frac{\lambda}{2\pi}(\Delta\phi_{ij} + 2\pi N_{ij})$$

N_{ij} ：整数値バイアス

線形化

発信機位置

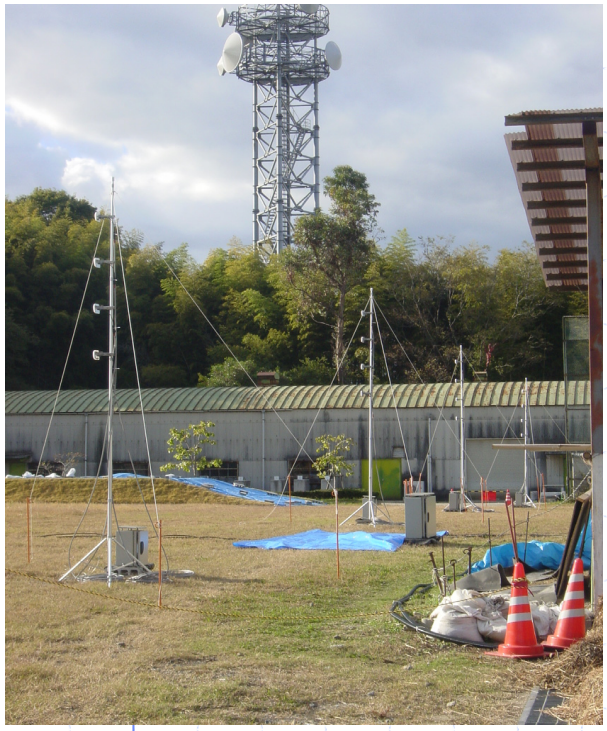
$$f_{ij}(x,y,z) \equiv \sqrt{(x-X_i)^2+(y-Y_i)^2+(z-Z_i)^2} - \sqrt{(x-X_j)^2+(y-Y_j)^2+(z-Z_j)^2}$$

$$[x, y, z] = [\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}] + [\delta x, \delta y, \delta z]$$

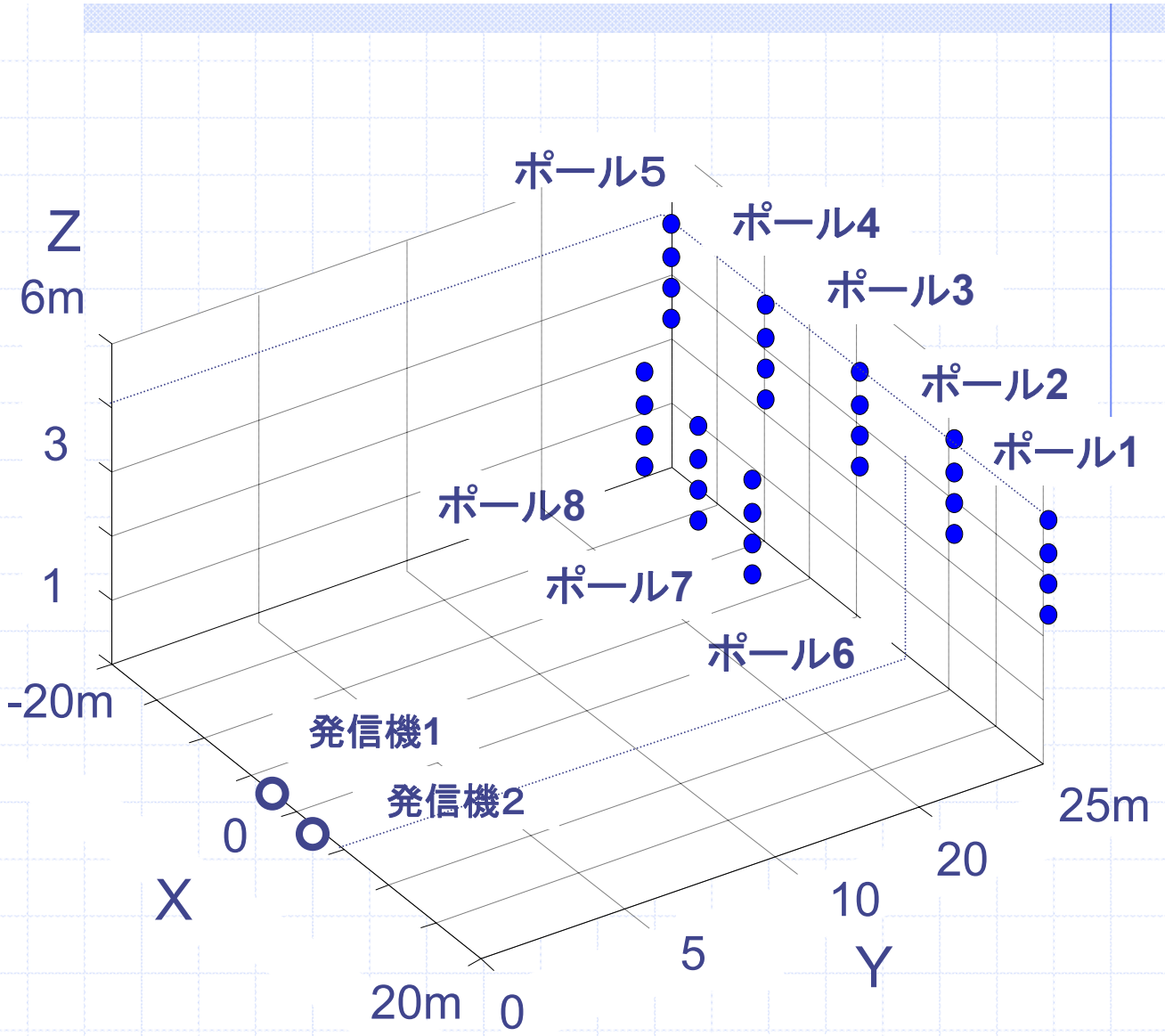
真値　近似値　補正値 $\delta\ \mathbf{p}$

d（データ）＝Ax（未知数）：連立一次方程式
A ： 係数行列

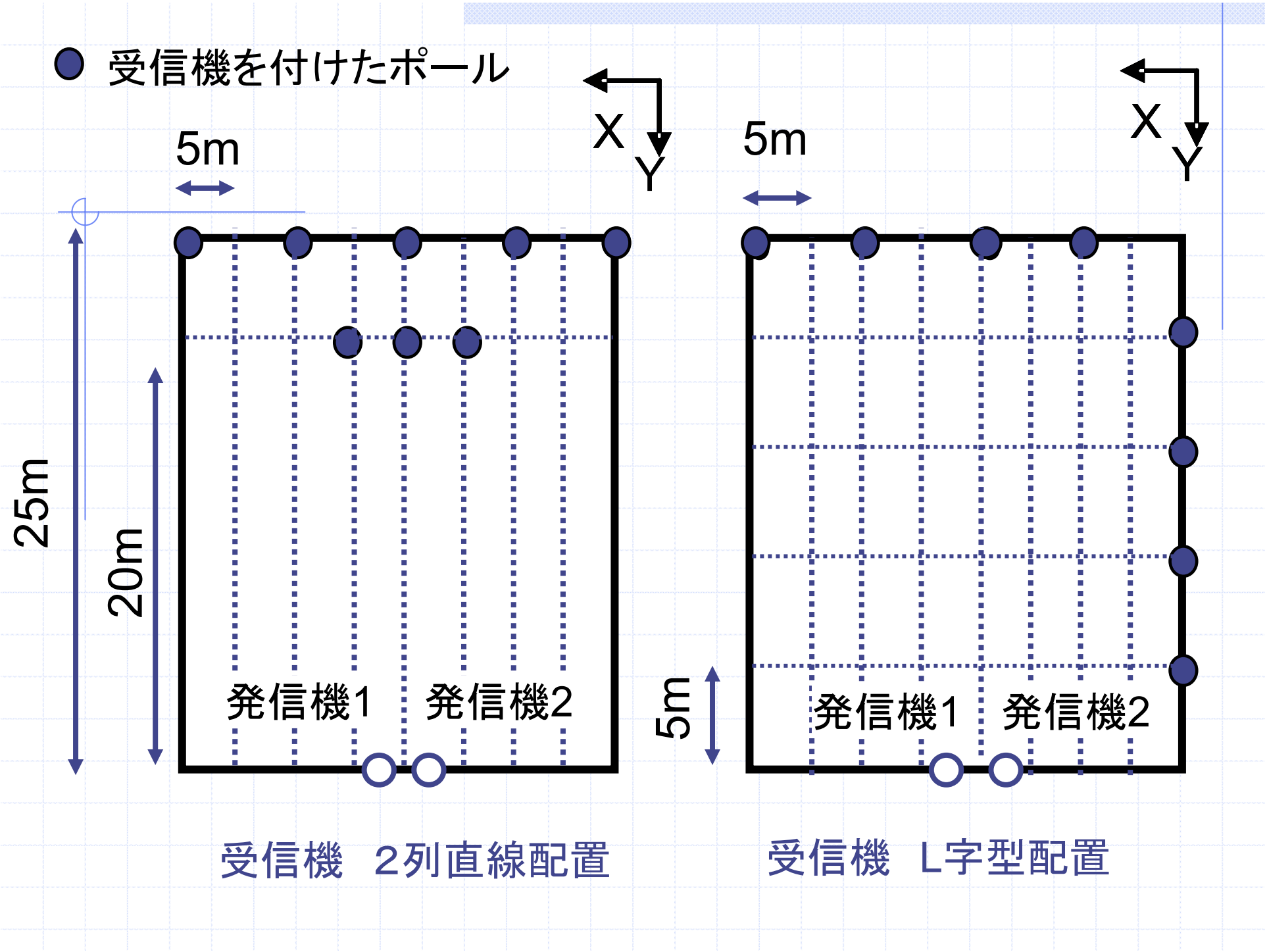
Aの性質で精度が決まる
（Aの固有値）



受信機を設置したポール

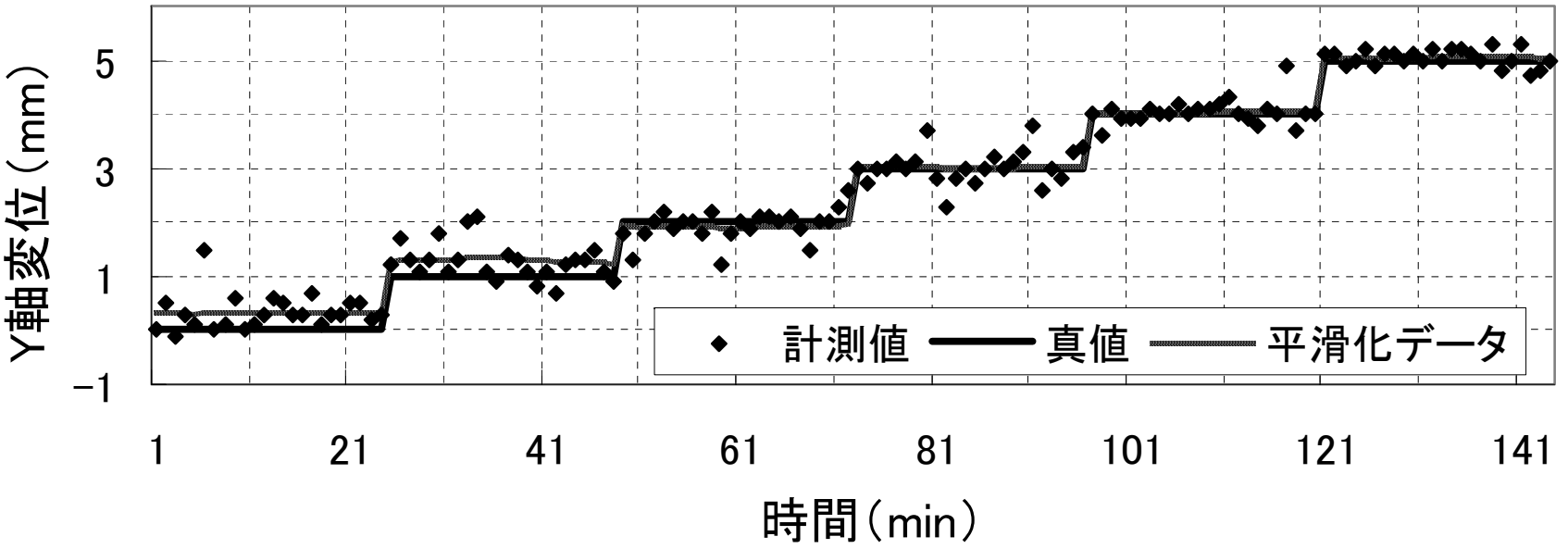


発信機と受信機の配置（受信機を直線2列にした場合）


受信機を付けたポール
X
Y
5m
25m
20m
発信機1
発信機2
受信機　2列直線配置
X
Y
5m
5m
発信機1
発信機2
受信機　L字型配置

発信機－受信機250m相当

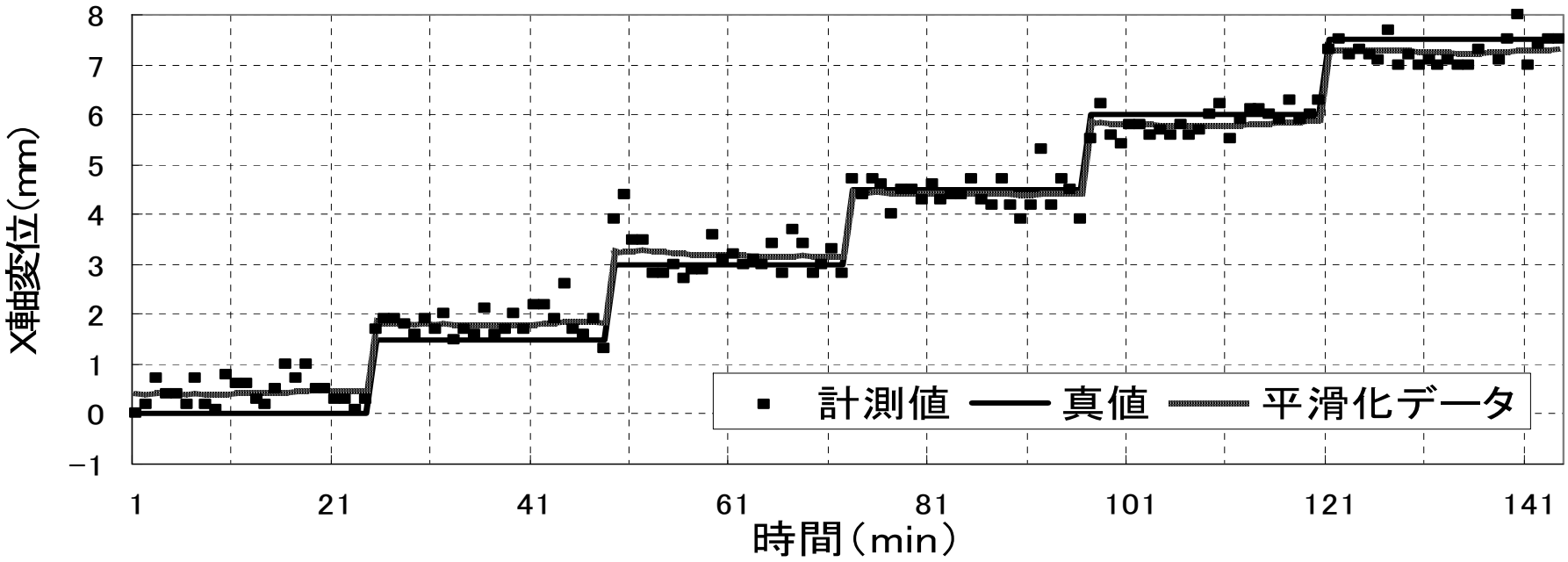
L字型配置　変位検出結果



真値：与えた変位

発信機－受信機250m相当

L字型配置　変位検出結果



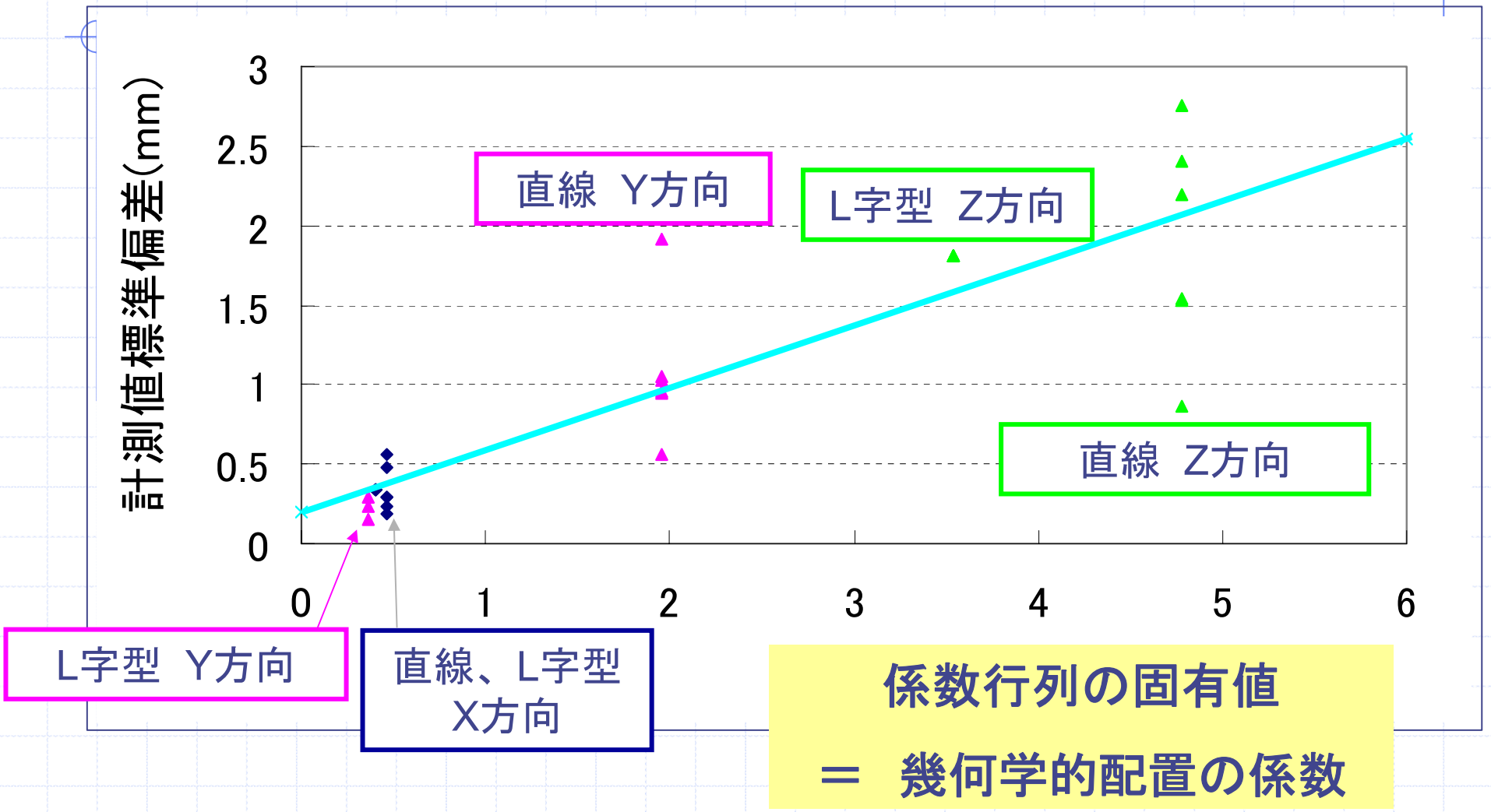
真値:与えた変位

X, Y方向の変位検出結果(L字型配置)

[mm]	計測値		平滑化	
真値	平均値	標準偏差	平滑値	標準偏差
0.0	0.442	0.2707	0.441	0.0285
1.5	1.825	0.3052	1.823	0.0221
3.0	3.192	0.4092	3.206	0.0436
4.5	4.425	0.3031	4.431	0.0132
6.0	5.904	0.2582	5.828	0.0319
7.5	7.300	0.3136	7.284	0.0269

発信機－受信機　250m相当

受信機の幾何学的配置で
精度が左右される



係数行列の固有値

＝　幾何学的配置の係数

Low Pass Filter（24点移動平均） 処理後

	X方向	Y方向	Z方向
確度 (mm)	0.11	0.77	1.1
分解能(mm)	0.001	0.06	0.04

受信機：直線配置の場合の係数行列の固有値

	X方向	Y方向	Z方向
発信機1	0.30	1.20	2.00
発信機2	0.30	1.10	1.80

受信機：L型配置の場合の係数行列の固有値

	X方向	Y方向	Z方向
発信機1	0.397	0.359	3.538
発信機2	0.382	0.346	3.410

Z方向は受信機の配置で改善されないが，簡便なフィルターで精度を確保できる

3次元電子地図モデルを用いた
災害シミュレーション

＋

平成18年度
2つの基本技術は完成

道路防災モニタリングネットワーク
システムの構築

次年度（平成19年度）の開発目標

効率的なマネジメントを行うツールの作成
防災GIS