

# 2016年高雄美濃地震 現地調査報告（速報）

## メンバー

- 【日本側】 清野純史（京都大学）・奥村与志弘（京都大学）  
土肥裕史（京都大学）・八木宏晃（静岡県庁）
- 【台湾側】 呉 建宏（成功大学）・李 徳河（成功大学）
- 【調査協力】 黄 博寅（成功大学）・何 慶齡（成功大学）

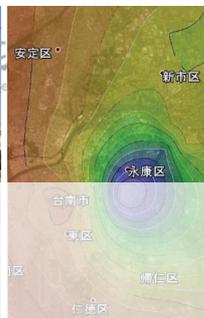
## 日程

2月14日（日）～15日（月） 地震発生から1週間後

Map data ©2016 Google, ZENRIN 50 km

Google Maps

1



## 被害

1. 建物 2. 地盤 3. 水道

## 地震

## 地盤

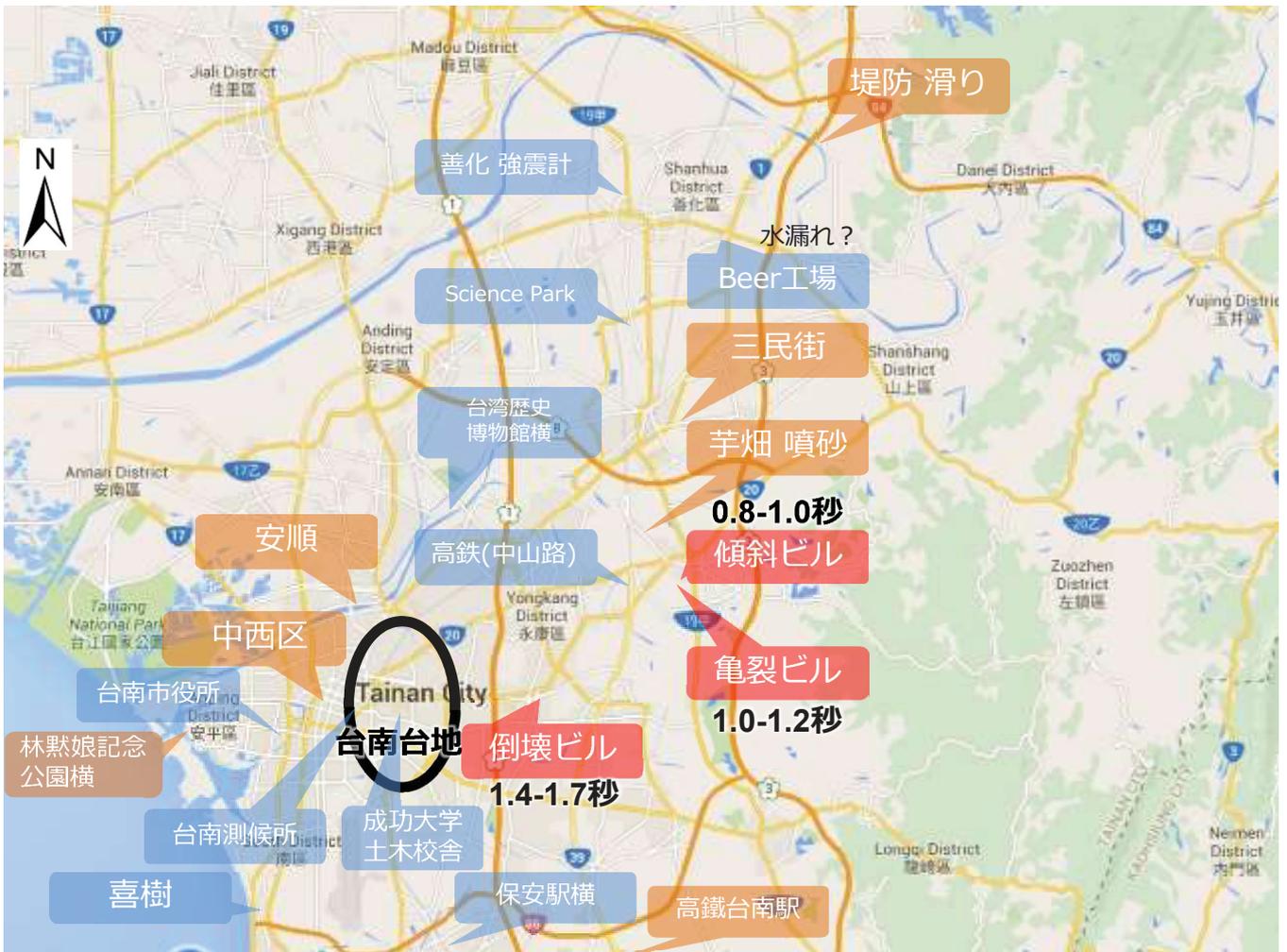
死者 116（うち114名は転倒建物）  
（台南市HPより）

## 建物被害

縣市	低樓層	中高樓層	高樓層	合計
台南市	228	35	5	268
高雄市	68	11	4	83
屏東縣	4	0	0	4
嘉義縣	2	0	0	2
<b>總計</b>	<b>302</b>	<b>46</b>	<b>9</b>	<b>357</b>

（NAR labsより）

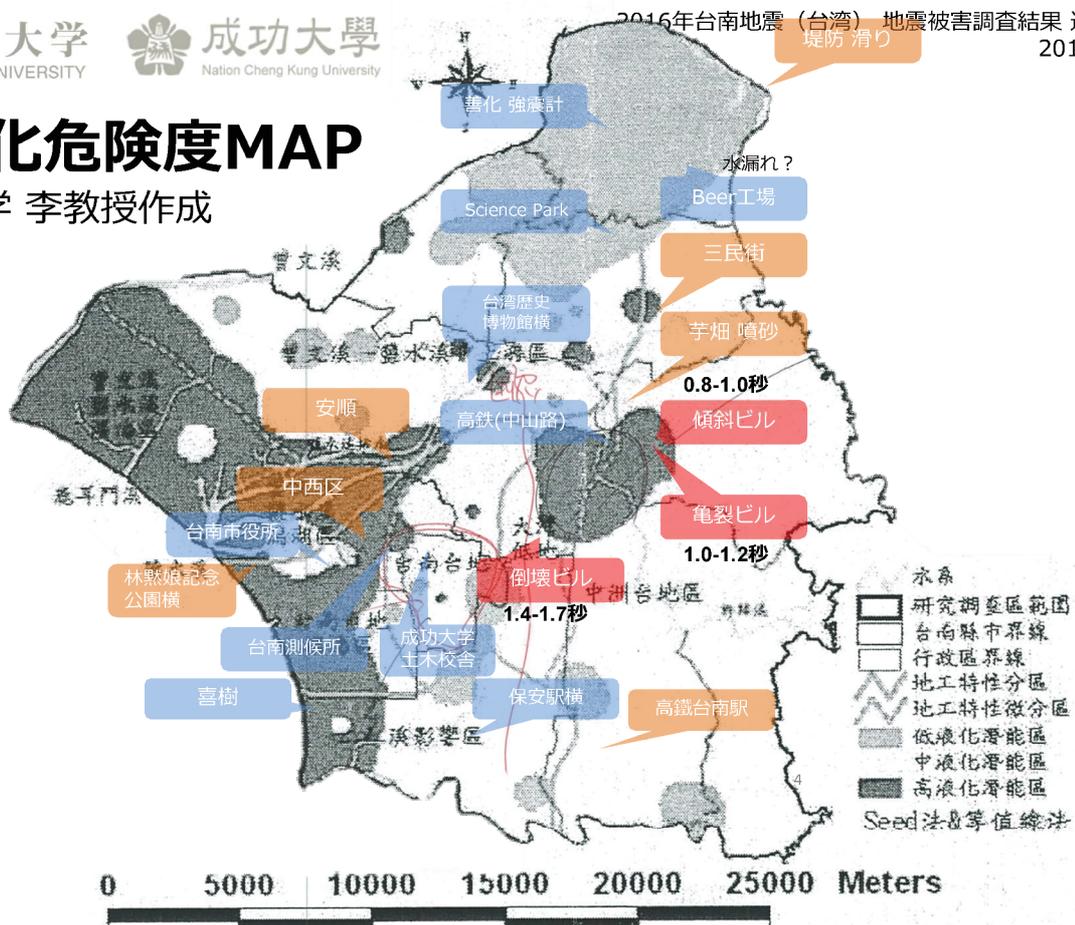




2016年台南地震 (台湾) 地震被害調査結果 速報会  
2016.3.8

# 液状化危険度MAP

成功大学 李教授作成  
に加筆



Seed 法配合等值線法表示台南都會區之液化潛能分區圖



## 被害

1. 建物 2. 地盤 3. 水道

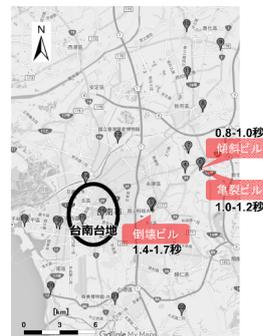
1. 揺れに伴う高層建物の被害（10階建て以上）  
2. 液状化に伴う低層建物の被害



## 揺れに伴う高層建物の被害（まとめ）

- ① 低層部分が完全に潰れ建物全体が倒壊した17階建ての建物
- ② 低層部分の構造部材が部分的に潰れ建物全体が傾斜した10階建ての建物
- ③ 低層部分の柱と壁に亀裂は入っているものの建物全体の傾斜や倒壊には至らなかった建物

1999年集々地震以降、50m以上の高層建物を建設する場合には構造計算と審査が必要になったために、50mよりわずかに低い10階、11階建て程度の建物が建設されるようになった。こうした建物は比較的被災しやすいと考えられるが、パターン②に分類される建物がこれに該当する。



## 揺れに伴う高層建物の被害

114名の死者を出した転倒ビル

### ○ビルの概要

- 17階建て
- 固有周期 **1.4~1.7秒** (簡易推定)  
 $17(\text{階}) \times 4(\text{m}) \times 0.02 = 1.36(\text{秒})$  [建築基準法 昭和55年11月27日建告第1793号]  
 $17(\text{階}) \times 0.1 = 1.7(\text{秒})$  [台湾の簡易推定方法 李先生より]



写真 倒壊した建物の現場における瓦礫の撤去作業の様子。救出作業は調査前日中に終了宣言が発表された。道路を挟んで並んでいる商店も押しつぶされた。

## 揺れに伴う高層建物の被害

114名の死者を出した転倒ビル

### ○周辺の被害について

- 倒壊により**地面に2m程度めり込んだ**。変圧器と水道管に被害あり。
- 道路を挟んで**向かい**に並んでいた**商店**も押しつぶされた。
- それ以外については、**周辺の建物に被害は見られない**
- 周りは**3階~7階建てのRC建物**が多い。一般的な戸建て住居は3階建てRC造。木造はほとんどない（シロアリ？）。
- 集々地震以降、50m以上の建物を建設するときには、構造計算を実施し、審査を経なければならなくなった。コストがかかるため、この高さよりわずかに低い建物（12階くらい）が多くなっている。（呉教授）



写真 倒壊現場の裏手の住宅。倒壊したビルのような高層建物は見られず、3階建て程度のRC建物が多い。建物に被害は見られない。



写真 倒壊現場の裏手の商店は営業している。建物に被害は見られない。

## 揺れに伴う高層建物の被害

### 傾斜したビル（京城銀行）@新化

#### ○ビルの概要

- 10階建て@新化
- 固有周期 **0.8~1.0秒** (簡易推定)
- 2階までは京城銀行のオフィス, 3階以上は支店の資料室
- 1階2階は構造壁が少ない吹き抜け構造.
- 柱が折れて建物全体が傾斜したと考えられる



写真 傾斜したビルの全景



写真 傾斜ビルの大きく破壊した1階, 2階部分



11

## 揺れに伴う高層建物の被害

### 傾斜したビル（京城銀行）@新化

#### ○傾斜ビルに伴う周辺の被害について

- 傾斜ビルに圧迫された隣の建物に被害あり
- 道路を挟んで向かいにはガソリンスタンドがあったが、被害なし
- 周辺の3階建て程度の低層の建物には被害は見られない



写真 新化の低層建物. 被害は見られない.



写真 傾斜したビルの横に土砂を盛り、進められる解体作業



12

## 揺れに伴う高層建物の被害

### 傾斜したビル（京城銀行）@新化

○ロータリーに面して建っていた高層マンションの被害

- 12階建て、1階部分に亀裂
- 固有周期 **1.0-1.2秒** (簡易推定)
- 付近では、11階、12階建ての建物が大きく振動した可能性がある。
- 建物全体が傾斜したビルと1階部分の壁に亀裂が入ったビルの被害の差は、低層部分の構造の差によるものか。

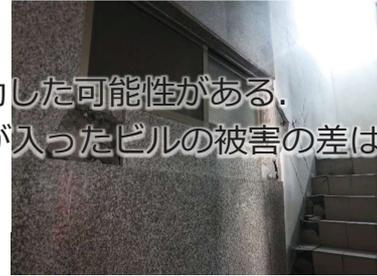


写真 傾斜したビルと1階部分に亀裂が発生したビル



写真 新化のビル。1階壁面に亀裂。



## 液状化に伴う低層建物の被害（まとめ）

- ① 建物全体が沈下し、1階部分が道路や周辺の地盤より低くなった建物
- ② 不同沈下により壁面や柱に亀裂が発生した建物



# 液状化に伴う低層建物の被害

## 三民街の液状化被害

- 同地区はかつては池だった。何力所かで噴砂痕あり。
- 地盤沈下が観察された。いくつかの建物と道路の境界，屋内の床下など。
- 不同沈下に伴う外壁の亀裂が観察された。



写真 不同沈下に伴う外壁の亀裂



写真 地盤沈下



写真 屋内の床下で発生した地盤変形

# 液状化に伴う低層建物の被害

## 安順の液状化被害

- 川沿いの住宅街。川に沿って標高差あり（台地の外縁付近?）。
- 噴砂痕多数。
- 地盤沈下が観察された。建物と道路の境界など。
- 不同沈下に伴う建物の傾斜，外壁の亀裂，道路の亀裂が観察された。



写真 安順の街並み。3階建てRC造の戸建て。



写真 不同沈下に伴う壁面の亀裂。



写真 安順で確認された噴砂

# 液状化に伴う低層建物の被害

## 安順の液状化被害



写真 不同沈下に伴う建物の傾斜。36.0cm沈下。奥に向かうにつれて沈下量は大きくなる。

写真 同地区の市街地を走る川沿いの標高差付近の液状化とそれに伴う道路、建物の被害状況。道路の亀裂の中には、コンクリート壁のようなものが見える。

# 液状化に伴う低層建物の被害

## 中西区の液状化被害

- 水道管から**水漏れ**。10世帯以上。この日の午後復旧工事が予定されていた。
- **噴砂痕**多数。
- **不同沈下**による建物被害。



写真 液状化に伴う建物の沈下



写真 不同沈下による壁面の亀裂



写真 排水溝の被害



写真 不同沈下による壁面の亀裂

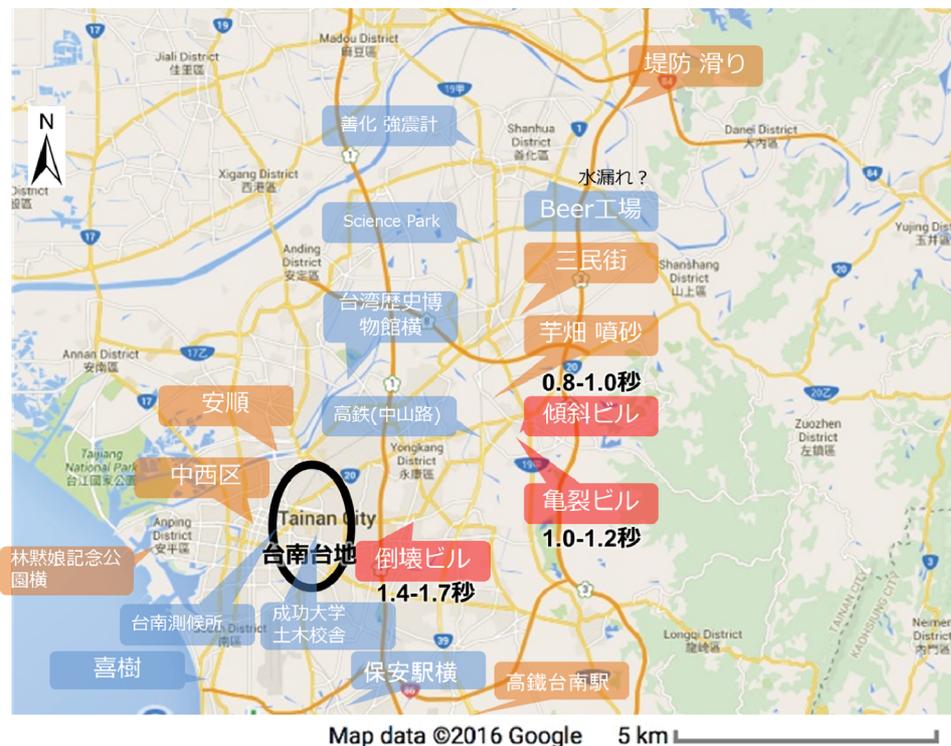
## 被害

1. 建物 2. 地盤 3. 水道

台南台地を囲むように土砂が堆積して拡大した土地に液状化被害が点在。  
土砂を供給し続けてきた曾文川の河川堤防では、大規模に滑り、崩壊するなどの被害が発生。



## 液状化の発生状況



液状化

なし

建物倒壊



## 曾文川の堤防



写真 滑った河川堤防の全景、奥に水門が見える。

23

## 曾文川の堤防



写真 滑った河川堤防と滑らなかった堤防の境界付近。表のり面はコンクリートのり覆工が施工されている。裏のみ面はのり覆工はない。



写真 滑り面。写真右側の濃い色の土砂は復旧作業で盛られたもの。



写真 堤防の土砂とともに滑り、散らばるコンクリートのり覆工

24

## 曾文川の堤防



写真 堤内側を流れる水路



写真 堤内側を流れる水路から浸透してきた水



写真 復旧作業の様子.

25

### 被害

1. 建物 2. 地盤 3. 水道

(1) 地盤の液状化に伴う水道管の被害  
(2) 建物の倒壊に伴う水道管の被害による断水

26

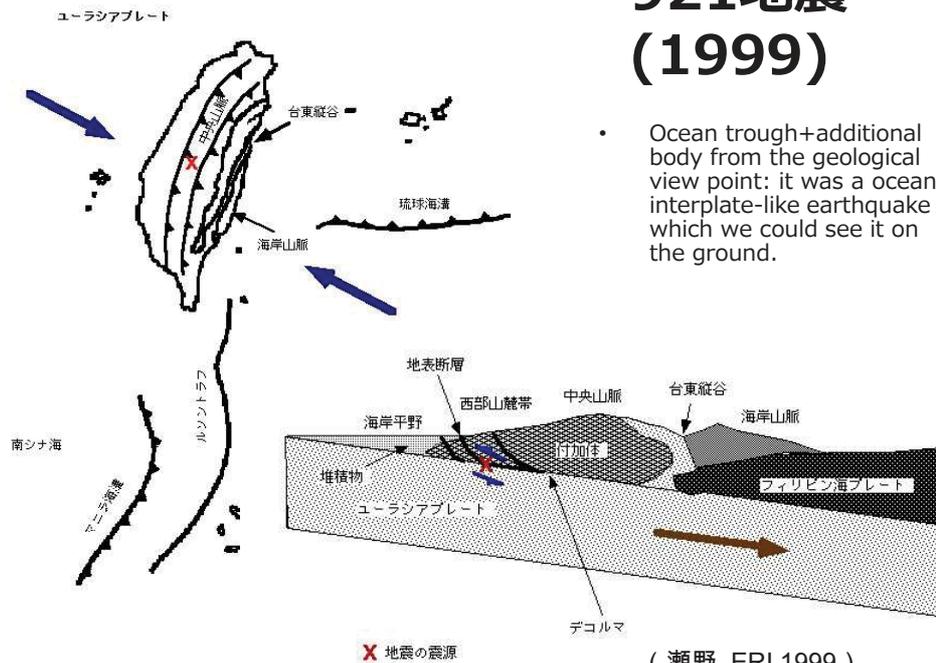


# 地震

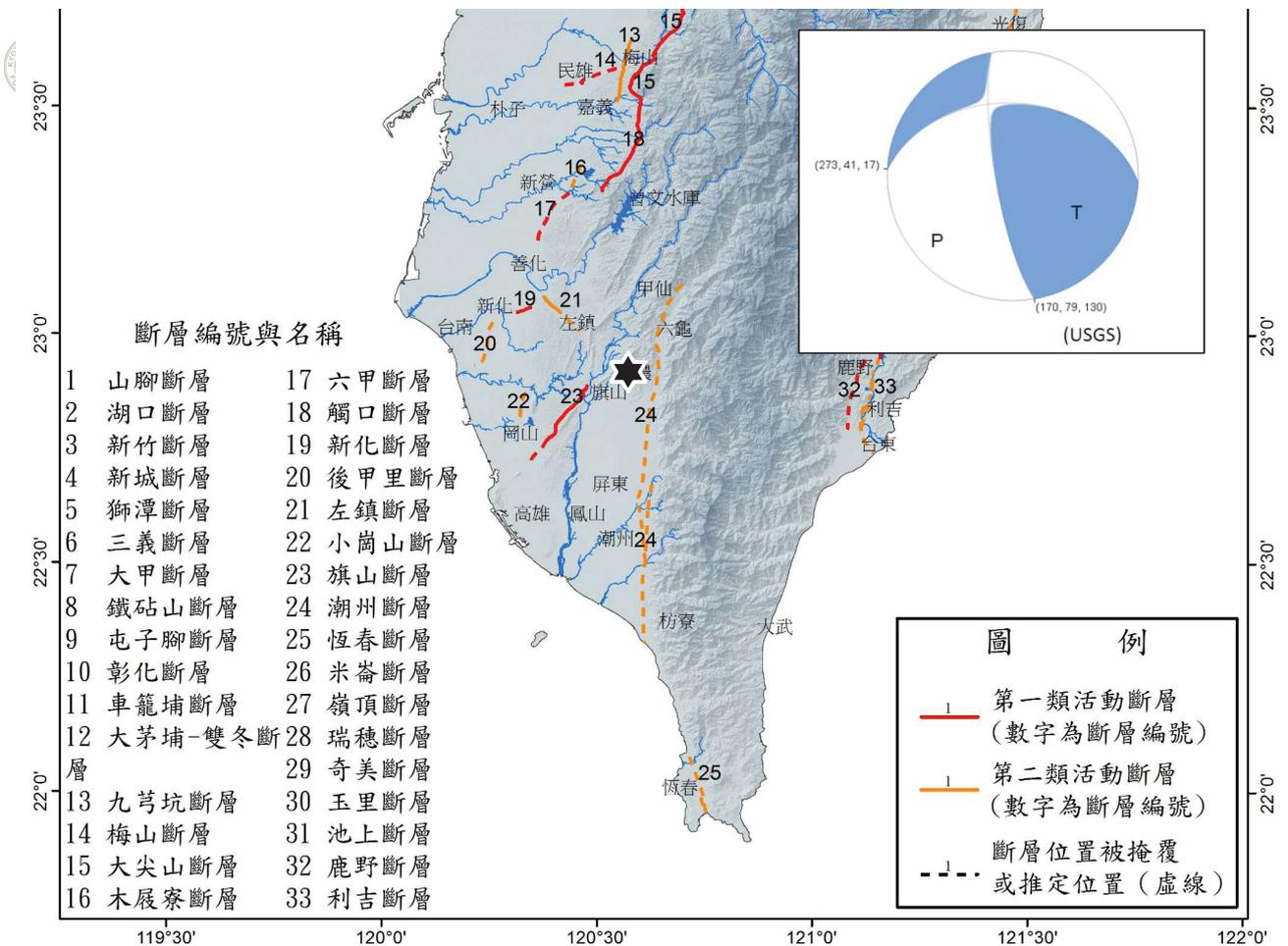
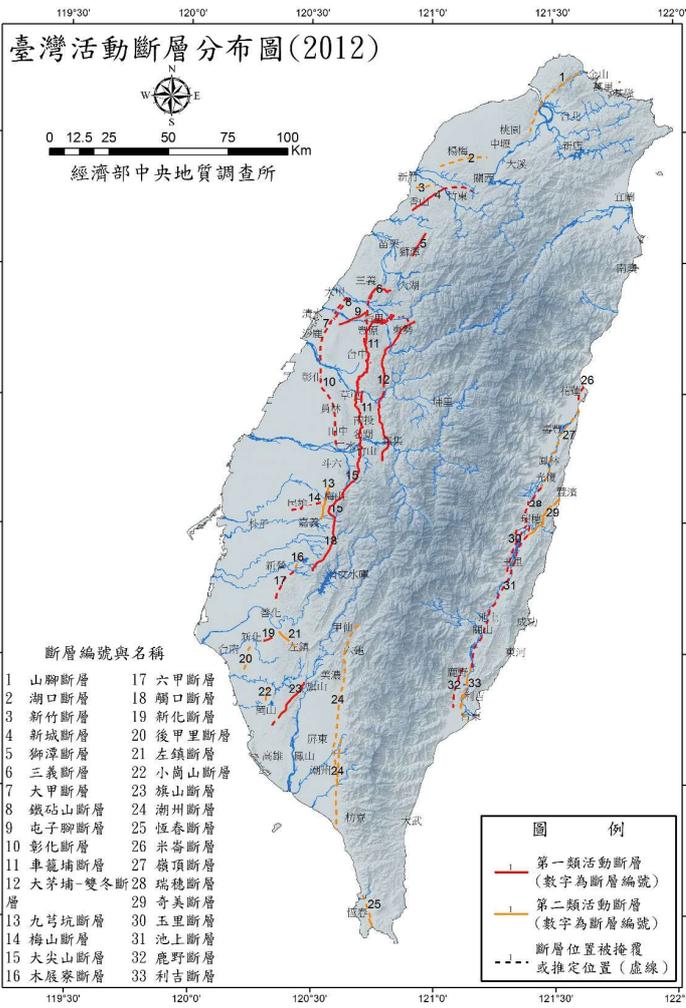


## 921地震 (1999)

- Ocean trough+additional body from the geological view point: it was a ocean interplate-like earthquake which we could see it on the ground.

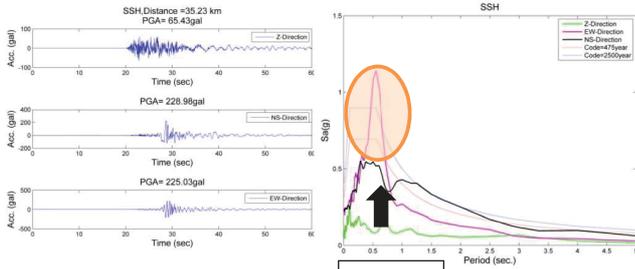


( 瀬野, ERI, 1999 )



# 観測加速度波形の卓越周期

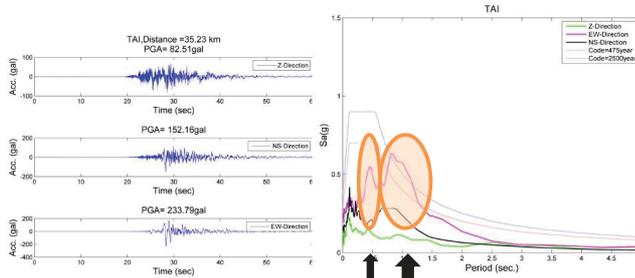
SSH(善化)



(NAR labsより)

0.6秒

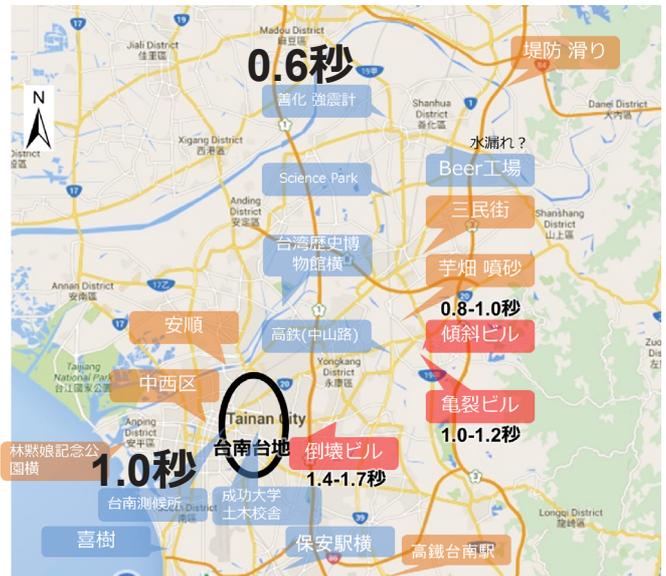
TAI(臺南市)



(NAR labsより)

0.5秒

1秒



## 地盤

微動観測. 22地点.

(1)台南台地 : 0.4秒~0.6秒

(2)大湾低地 (台地東側) : 1秒前後

(3)台地西縁から沿岸 : 0.2秒~0.5秒

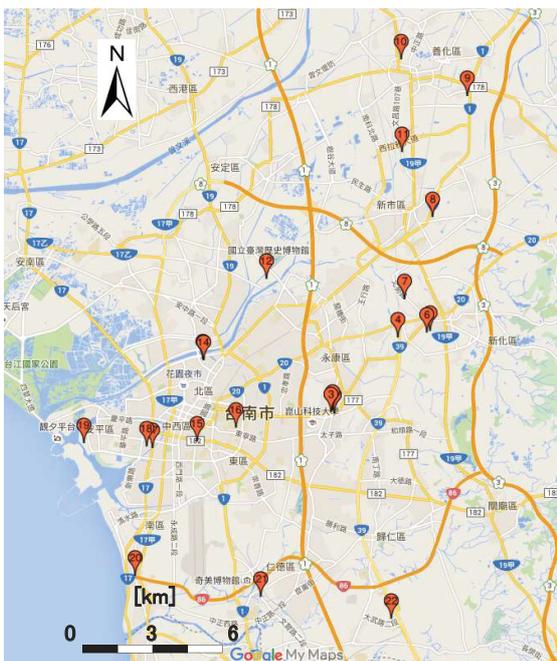
## 手法：H/Vスペクトル

- 22地点の観測時間はそれぞれ10分ほどであり、サンプリング周波数は100Hzである。
- H/Vスペクトルの算出には、解析プログラム BIDO (Ver. 2.0) を用いた。
- H/Vスペクトル算出における基本的な設定
  - セグメント長は10.24秒
  - セグメント数13個以上の平均と分散
  - バンド幅0.4Hz のParzen Windowを使用
  - 0.1Hzから10Hzに着目した描画



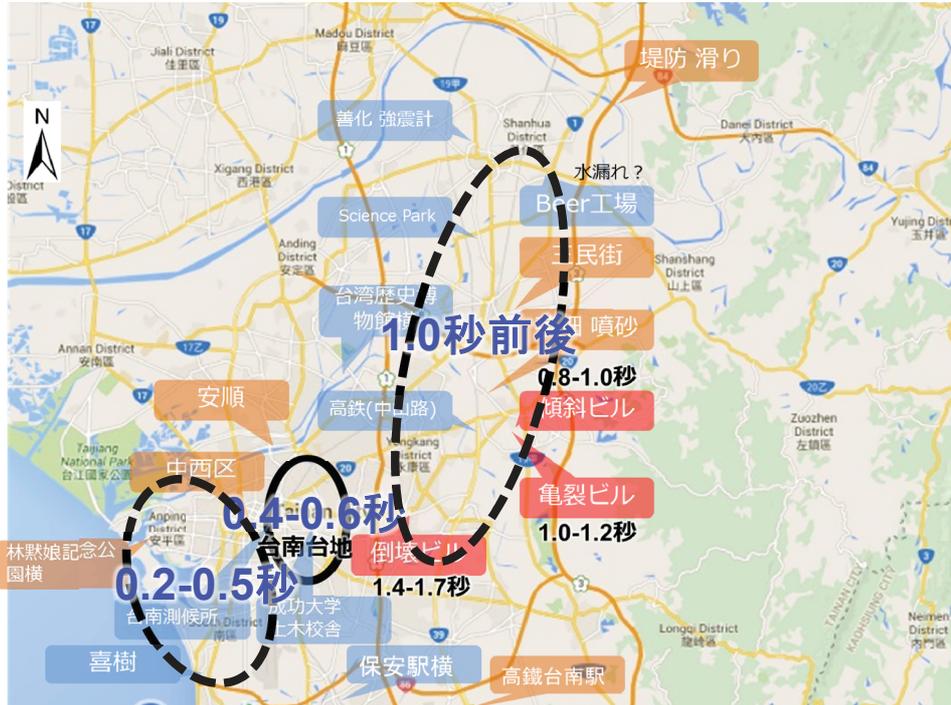
写真 微動観測の様子

## 概要：観測点位置と卓越周期



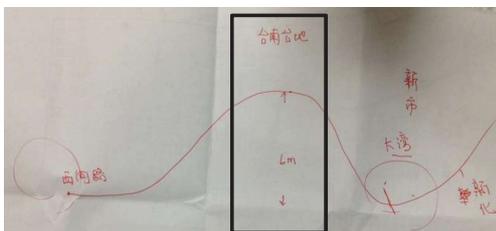
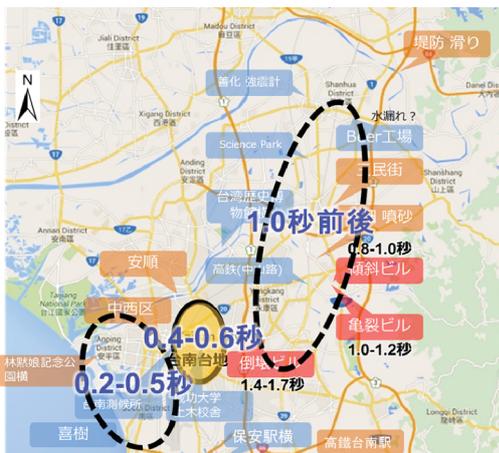
	観測点	H/Vのピーク[s]	卓越周期
1~3	倒壊マンション付近	1秒前後, 2~3秒	2秒
4	高速鉄路(中山路)	0.3秒, 0.5秒, 1秒	1秒
5	新化 傾いた銀行付近	1秒	
6	新化 1階に亀裂がみられるビル付近 (傾いた舗装の上)	0.7秒 (参考値とする)	1秒
7	新市と新化の間 高速鉄道付近の畑	0.6秒, 1.0秒	1秒
8	三民街の住宅地にある空地	0.35秒, 0.7-1秒	1秒
9	台湾ビール工場 駐車場	0.2秒, 0.3秒, 1秒	1秒
10	善化の強震計付近 空地	0.7-1.0秒	0.8秒
11	南科国小学校のグラウンド	0.4, 0.6, 1.0秒	1秒
12	国立台湾歴史博物館横 高層ビル建設予定地	0.8秒	0.8秒
13	安順 不同沈下した家屋付近		
14	安順 台地の上	0.5-0.8秒	0.7秒
15	台南測候所	0.6秒	0.6秒
16	成功大学 土木校舎	0.4秒	0.4秒
17	台南市役所 (庁舎東側)		
18	台南市役所 (庁舎西側)	0.5秒付近	0.5秒
19	林黙娘記念公園横の空地	0.2秒 (強風)	0.2秒
20	喜樹の空地	0.2秒, 0.3秒	0.3秒
21	保安駅横	0.5秒	0.5秒
22	高鐵台南駅横の公園	0.6秒	0.6秒

## 概要：観測点位置と卓越周期

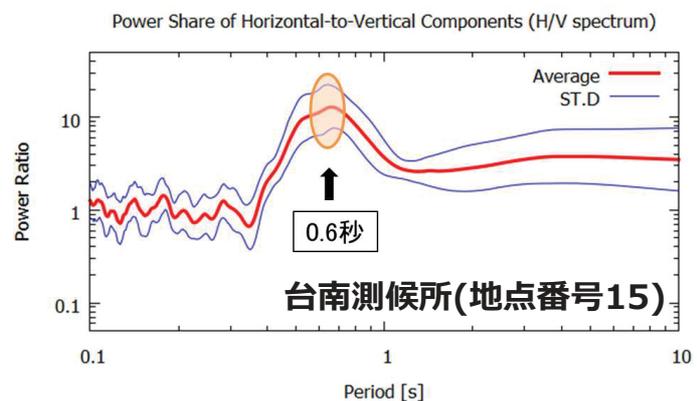


Map data ©2016 Google 5 km

## 台南台地

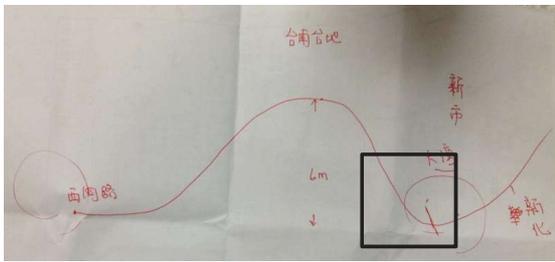


	観測点	卓越周期[s]
15	台南測候所	0.6秒
16	成功大学 土木校舎	0.4秒



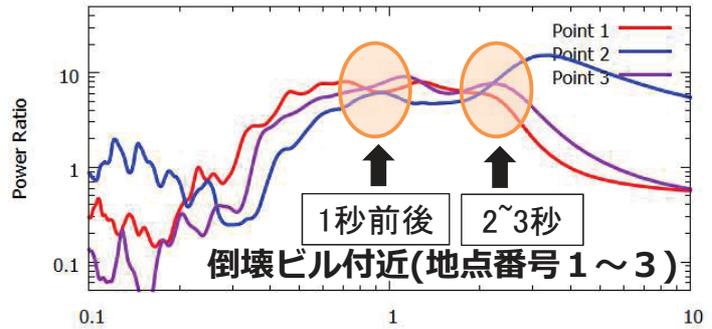
- 観測点は2点と少ないが、台南台地における卓越周期は0.4~0.6秒程度と短周期であり、堅い地盤であると推測される。

# 大湾低地



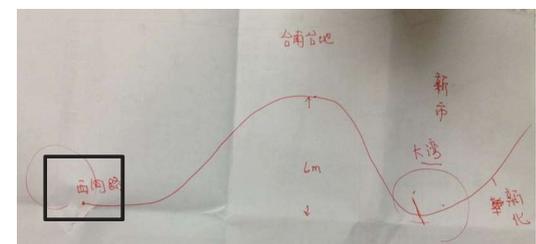
観測点	地震被害調査結果	卓越周期	速報会
1~3	倒壊マンション付近	2秒	2016.3.8
4	高速鉄道(中山路)	1秒	
5	新化 傾いた銀行付近	1秒	
6	新化 1階に亀裂がみられるビル付近 (傾いた舗装の上)	0.7秒 (参考値とする)	
7	新市と新化の間 高速鉄道付近の畑	1秒	
8	三民街の住宅地にある空地	1秒	
9	台湾ビール工場 駐車場	1秒	
10	善化の強震計付近 空地	0.8秒	
11	南科国小学校のグラウンド	1秒	

Power Share of Horizontal-to-Vertical Components (H/V spectrum)



- 大湾低地における卓越周期は1秒前後であり、台南台地(0.4~0.6秒)とは異なる振動特性を持った地盤である。
- 特に北部のどの範囲までが大湾低地か? 更なる分類が必要か。

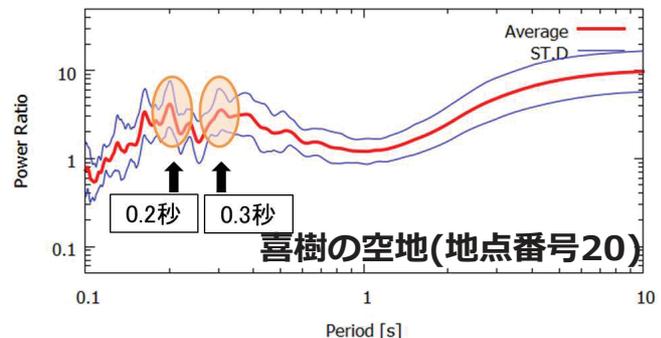
# 台南台地の西縁から臨海部



2016年台南地震 (台湾) 地震被害調査結果 速報会  
観測点 卓越周期 2016.3.8

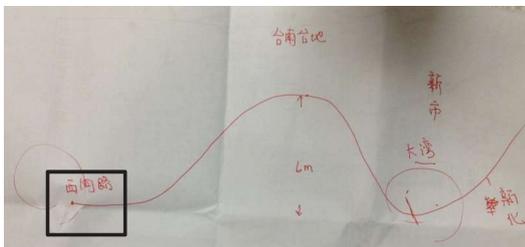
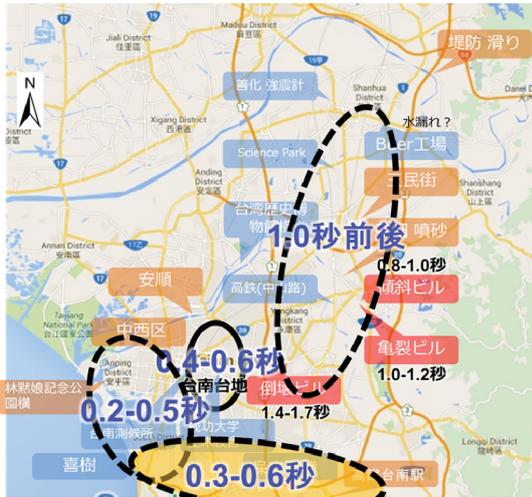
17	台南市役所(庁舎東側)	0.5秒
18	台南市役所(庁舎西側)	
19	林黙娘記念公園横の空地 (強風下での観測)	0.2秒
20	喜樹の空地 (強風下での観測)	0.3秒

Power Share of Horizontal-to-Vertical Components (H/V spectrum)

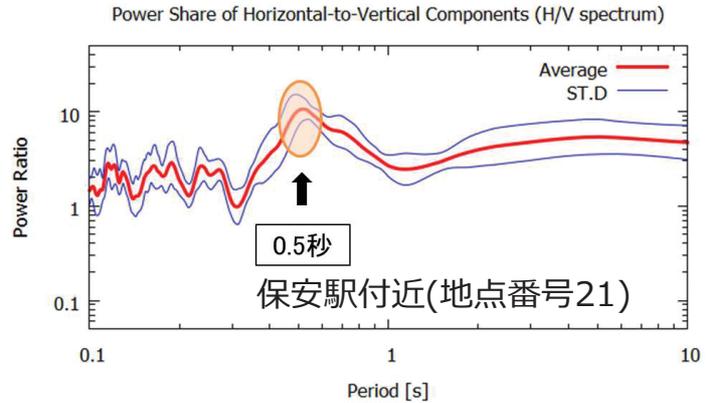


- 台湾台地西縁から臨海部にかけての卓越周期は0.2秒~0.5秒と、比較的短周期側にピークを持つ。
- 特に臨海部は卓越周期の長い地盤と推測されたが、短周期の卓越周期が観測された。臨海部は風の影響もあったか。台地周縁から臨海部に向けた密な微動観測が今後必要。

## 台南南部の東西測線

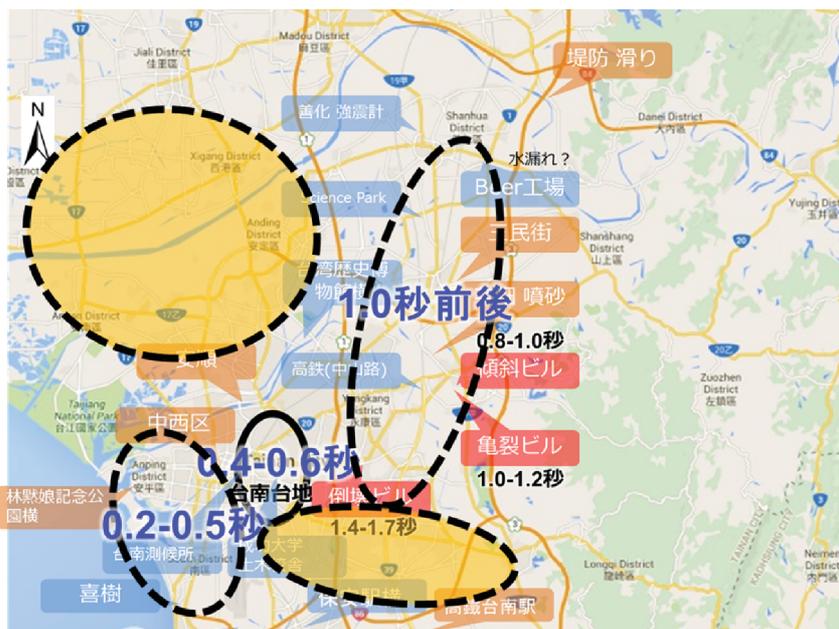


	観測点	卓越周期
20	喜樹の空地	0.3秒
21	保安駅横	0.5秒
22	高鐵台南駅横の公園	0.6秒



- 臨海部から高鐵台南駅にかけての台南南部東西測線における卓越周期は0.3~0.6秒ほどである。
- 観測点数が少ないので、今後更なる観測が必要である。

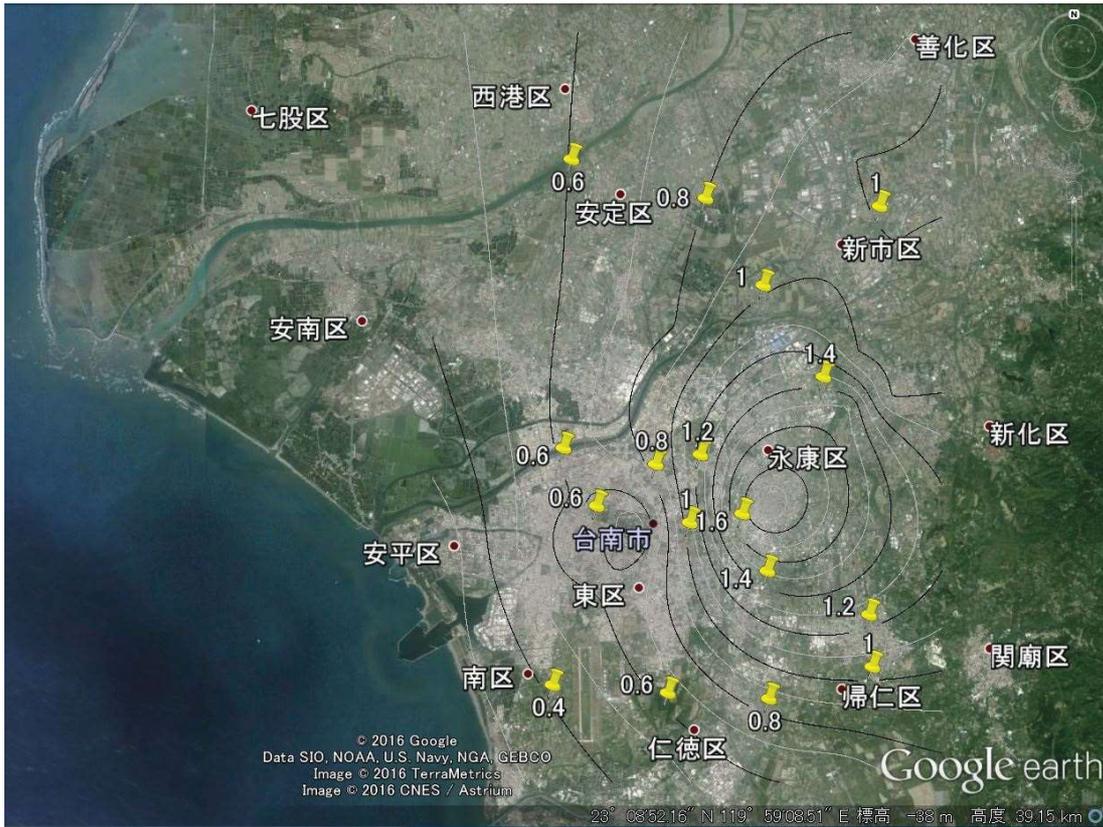
## 台南の北西部と南部



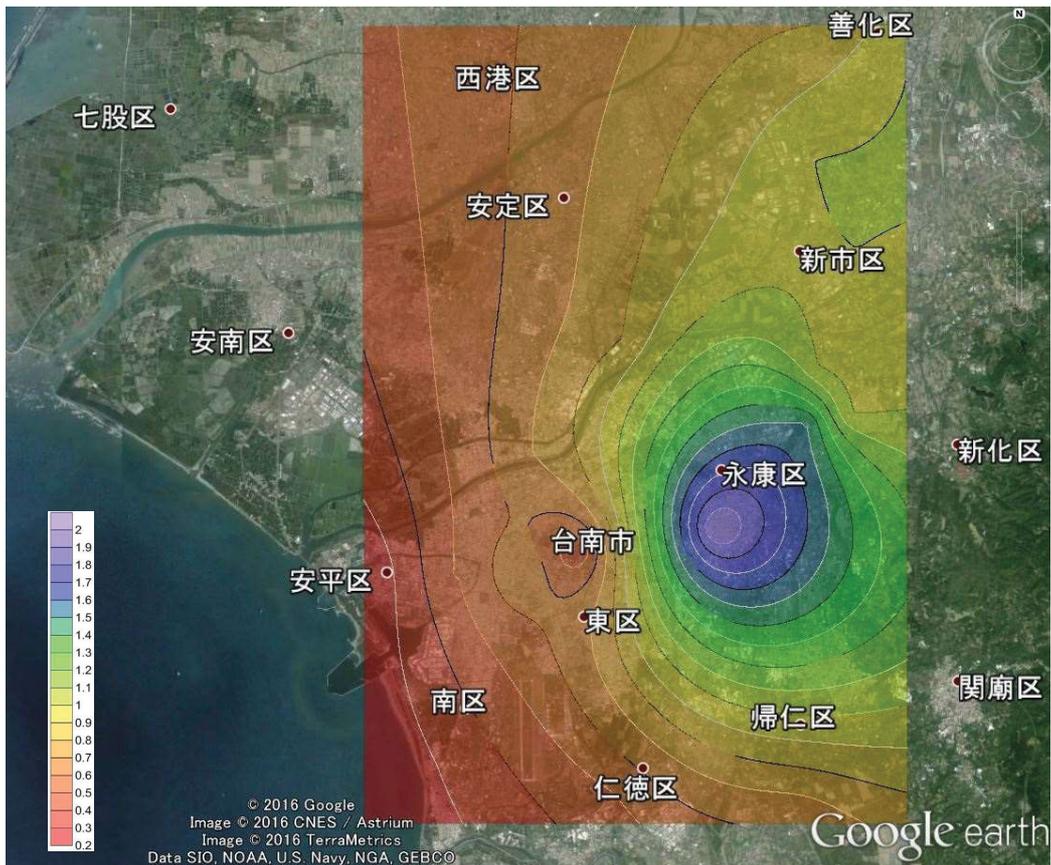
Map data ©2016 Google 5 km

✓ 観測点数が少ないので、更なる密な観測が必要。

# まとめ：台南市の地盤の推定卓越周期分布



# まとめ：台南市の地盤の推定卓越周期分布（色付き）



- 台南台地を中心とした周辺地域の22の地点で観測を行った。
- **台南台地**の卓越周期は**0.4秒～0.6秒**である。
- **台南台地よりも東側の大湾低地**における**卓越周期は1秒前後**であり、台南台地(0.4～0.6秒)とは異なる振動特性を持った地盤である。台南台地と比べ、相対的に基盤までの深度が深いか、弾性波速度の遅い層が存在するものと予想される。
- **台南台地の西縁から沿岸**にかけての地盤の卓越周期は**0.2秒～0.5秒**と、比較的短周期側にピークを持つ。台地の西側や沿岸にかけては河川堆積物や埋め立て等により、軟らかい地盤でかつ基盤までの深さも徐々に深くなり、その結果、台地に比べて卓越周期も相対的に長周期側に移ることも予想されたが、データからはそのような傾向は見られなかった。
- 今後の観測への課題・提案は以下の通りである。
  - 大湾低地等で見られた1秒を中心としたなだらかなピーク形状の再確認
  - 大湾低地の領域の確認（南北どこまでか。東北部の長周期の理由。）
  - 台南台地周縁での観測（台地と周縁境界の明確化）
  - 台南台地西側の振動特性の確認（現時点では観測点が少ないので、相対的に短周期が卓越した地盤となっている。これは正しいのか。）
  - 観測をほとんど行っていない北西部および南部における微動観測
  - 台南市の旧地形図との比較