

よくわかる緊急地震速報

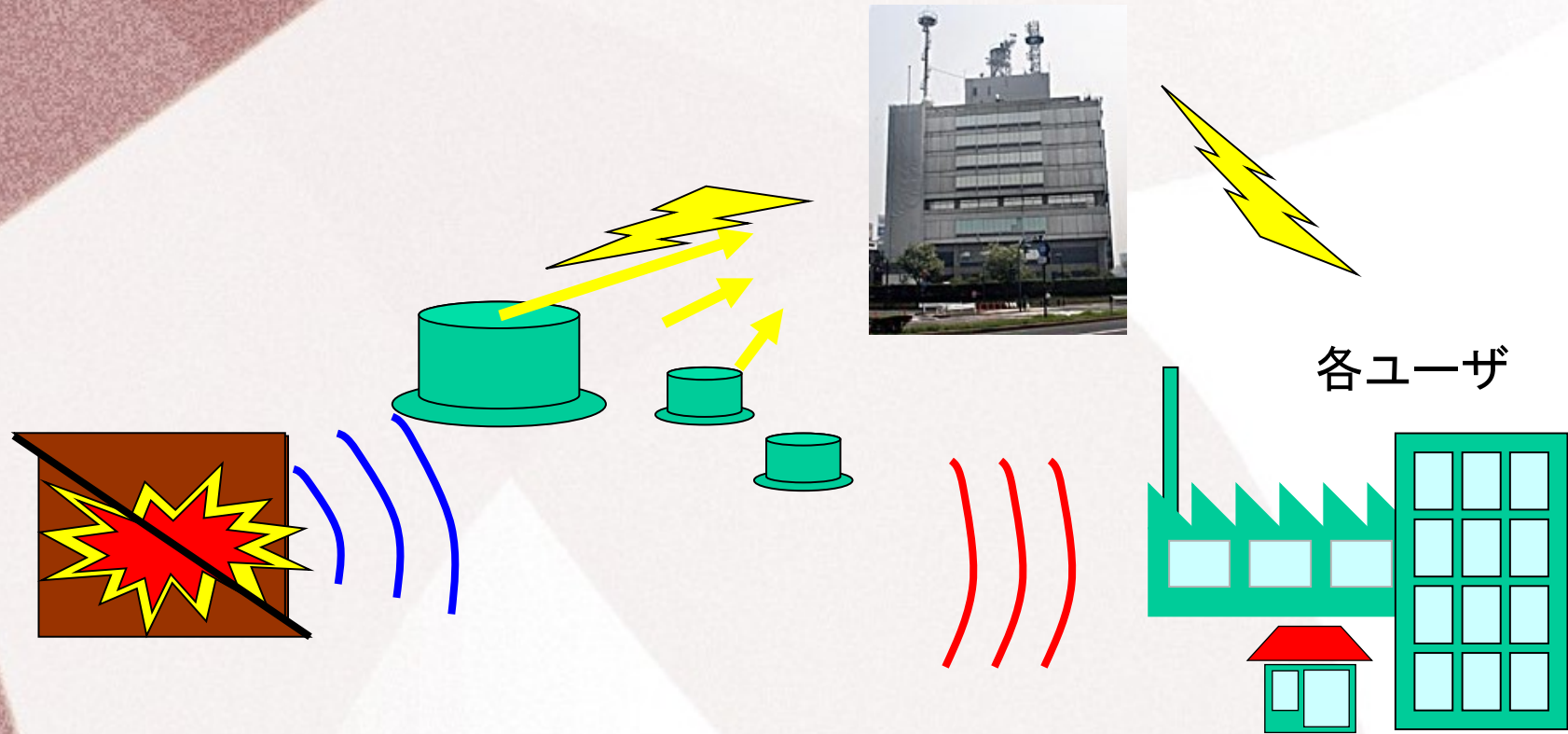
気象研究所 大竹和生

本日のおしながき

- 緊急地震速報の概要
- 「即時性」という切り口
 - 観測点が少ないこと
 - 時間が少ないことの物理的意味

そもそも緊急地震速報って

気象庁



震源付近で地震波を捉え、震源や各地の揺れの大きさを推定し、大きな揺れが到達するまでに伝えることを目指す情報

⇒ 揺れが到達するまでの時間を活用して防災対応をとることを可能とする

San Francisco Daily Evening Bulletin by J. D. Cooper, M. D., November 3, 1868.

自然 1972

10秒前大地震警報システム

東京地区を揺る大地震の震は70kmも南方の相模湾トラフにある。そこからくる地震波の所要時間は十数秒かかる。これを利用する災害対策への新提言。



伯野元彦
高橋ひろし博

at various points from 10 to 100
th high enough to do damage will
ng from this city and almost
hung in a high tower near the center

土木学会論文集 1996

研究展望：総合地震防災システムの研究

中村 豊

正会員 工博 財団法人 鉄道総合技術研究所 ユレダス開発推進部
(〒185 国分寺市光町 2-8-38)

構造物および地盤の耐力を把握し、発生した外力をモニターするために、警報システム「ユレダス」と復旧支援システム「ヘラス」を開発した。「ユレダス」はP波初動を検知して、マグニチュード、震央位置および深さを推定し、必要地域に4秒以内に警報を出す地震警報システムである。「ヘラス」はユレダス情報をもとにP波検知後数分で被害を予測し、迅速・的確な地震後対応を支援する。ヘラスに関連して、「被災しやすさ指数」K値群を提案した。K値群は、地盤や構造物の健全度計測のために開発された「ピック」を用いて常時微動を測定することにより、簡便に精度良く算定できる。地震前の微動測定データに基づくK値群と実際の地震被害とを比較して、K値群が被災しやすさを的確に表現していることを確認した。

Key Words : alarm system, real-time seismology, UrEDAS, microtremor, QT Spectrum, spectral ratio, HERAS, vulnerability index, hazards estimation

for October.

Earthquake Indicator.
 Editor Bulletin—Since the Japanese magnet indicator has proved a failure, we are now obliged to look for some other means of prognosticating these earthquakes, and I wish to suggest the following by which we may make electricity the means of saving thousands of lives in case of occurrence of more severe shocks than we have yet experienced. It is well known that these shocks are produced by a wave-motion of the surface of the earth, radiating from a centre just as they do in a stone is thrown in. If this centre happens to be far enough from this city, we may be easily forewarned of the coming wave in time for all to escape from dangerous buildings before it reaches us. The phenomenon was observed and recorded in Dr. J. B. ... on ... from 1800 to ... miles per minute, or a ... hour ... than the ... wave is ... this port ... Islands or Japan.

... contrivance can be arranged ... 10 to 100 miles from San Francisco ... high enough ... current over the ... from this city, and almost the ... alarm bell, which should be hung in ... near the center of the city. This bell ... large, of peculiar sound, and known to ... as the earthquake bell. Of course nothing ... undulation of the surface of the earth ... This machinery would be self-acting, ... dependent on the telegraph operators, who ... always retain presence of mind enough to ... the moment, or might sound the alarm too ... some shocks appear to come from the west, ... be laid to the Fatalious Islands, 25 miles ... warnings thus given of any danger from ...

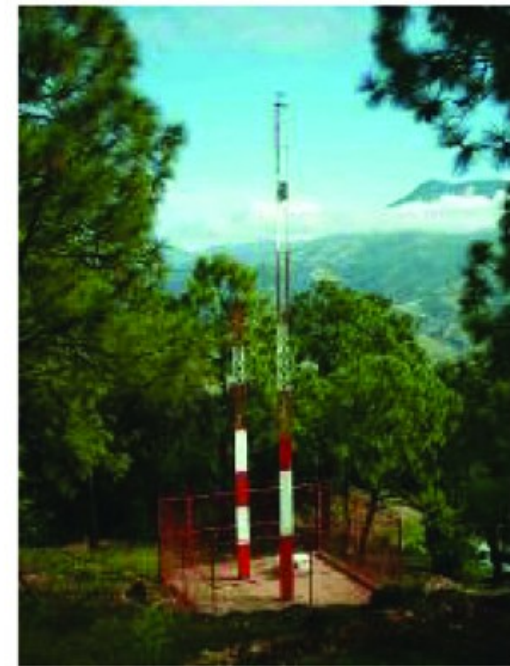
... there might be shocks the central force of ... too near this city to be thus predicted, but ... likely to occur once in a hundred times.

J. D. Cooper, M.D.

San Francisco
Daily Evening
Bulletin,
November 3,
1868



Distribution of the Stations Sensors of SAS



Sensor Station of SAS

SAS - メキシコシティ地震警報システム

FUNCTIONING

1991.8~

SAS can emit seismic warning in the valley of Mexico when it recognizes the beginning of the big earthquakes that occurs in Guerrero's coast. In the city, with a distance bigger than 320 km to Guerrero's coast, the most destructive effect can be warned with an approximated opportunity of 60 sec, thanks to distance and to the difference between the propagation speed of seismic and radio waves. The fastest face of a seismic wave travels at 8 Km/s. Fortunately the slowest but strongest is propagated at 4 Km/s.



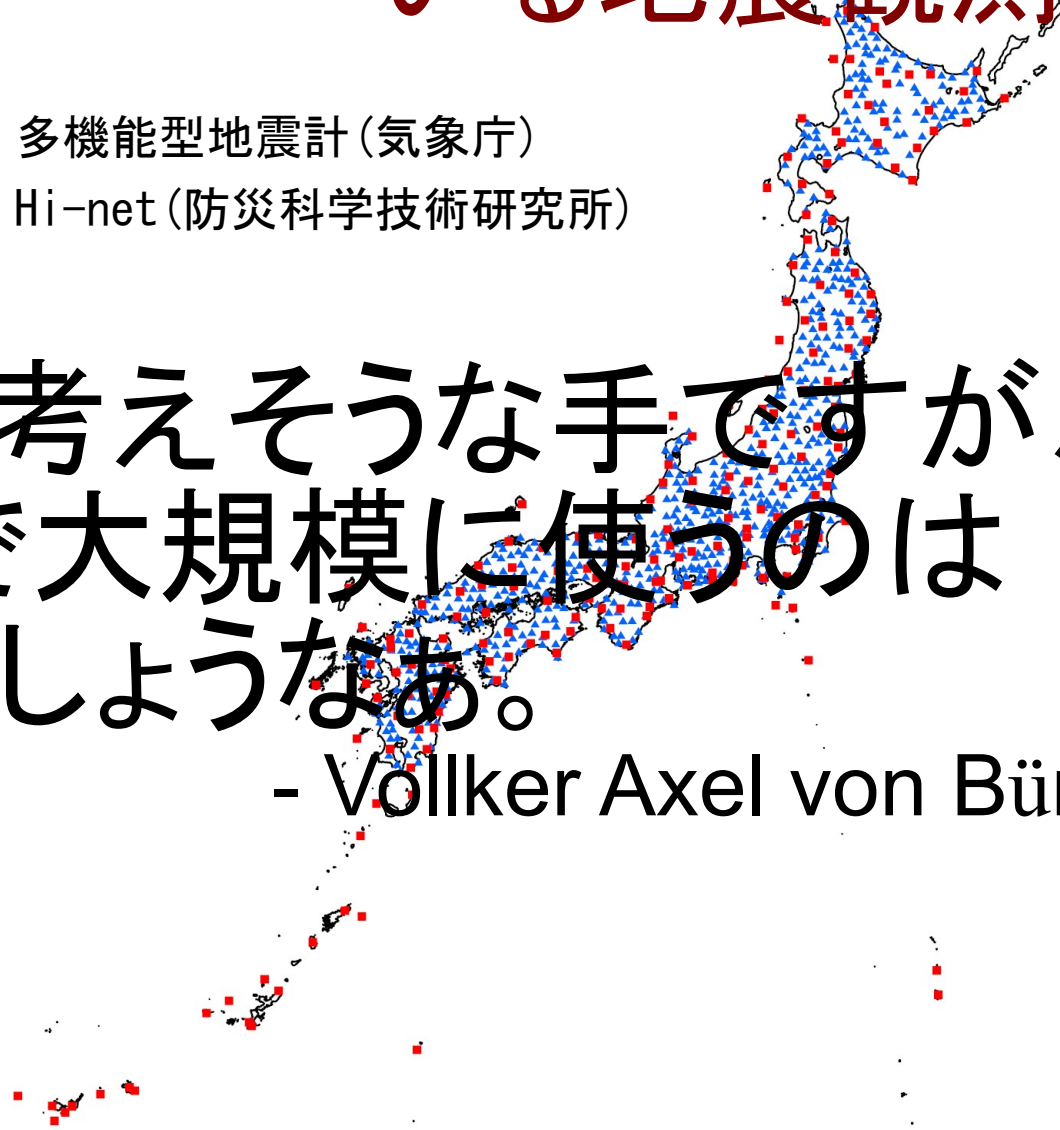
Zone of capture of SAS and the approximated

緊急地震速報に使用している地震観測点

- 多機能型地震計 (気象庁)
- ▲ Hi-net (防災科学技術研究所)

確かに誰でも考えそうな手ですが、これをここまで大規模に使うのは前例がないでしょうなあ。

- Vollker Axel von Büro



けっきょく緊急地震速報とは

一言で言えば

震源決定・M決定をものすごく早く行う処理

震源から少し離れれば、
揺れる前に情報が来る

なんだか怪しい実演販売みたいなもの

現地観測点からの伝送フォーマット

0	識別符号 0xee固定	識別符号 0xda固定	テストフラグ / データ種別	フォーマットの バージョン
1	送信一連番号		機器番号	情報区分等
2	観測点番号			
3	西暦年 (二桁)	西暦年 (二桁)	月	日
4	時	分	秒	1/100ms
5	震央距離		震源方位	
6	入射角	マグニ チュード	係数 A	
7	最大変位		最大変位時刻	
8	最大加速度		震度	震度の区間
9	最大速度		最大速度時刻	

計40オクテット

現地処理データをセンターで処理
→分散型と集中型のハイブリッド

本日のおしながき

- 緊急地震速報の概要
- 「即時性」という切り口
 - 観測点が少ないこと
 - 時間が少ないことの物理的意味

ようやく本題

Live Magnitude Estimation(仮称) について

マグニチュードとは

マグニチュード(magnitude)とは、地震が発するエネルギーの大きさを表した指標値である。1935年に、アメリカの地震学者チャールズ・リヒター(以下単に「リヒター」)によって初めて定義された。(中略)なお、英語圏ではリクター・スケール(Richter scale、リヒターの英語読み)との表記が一般的である。

ただしソースはウィキペディア

マグニチュードとは(cont.)

オリジナルのマグニチュードの定義:

- 震央からの距離100kmのところにあるウッド・アンダーソン型地震計の最大振幅(単位: μm)の値の常用対数

マグニチュードとは(cont.)

気象庁のマグニチュードの定義:

- 変位マグニチュード

$$M_D = \frac{1}{2} \log(A_n^2 + A_e^2) + \beta_D(\Delta, H) + \text{const.}$$

Δ は震央距離、 H は震源の深さ、 β_D は距離減衰項

- 速度マグニチュード

$$M_v = \frac{1}{0.85} \log(A_z) + \beta_v(\Delta, H) + \text{const.}$$

マグニチュードとは(cont.)

- 多数の観測点の平均
- そもそも結構ばらつくものである
- そういうことになっているのでいまさら変えられない
 - 元祖70年の歴史!

緊急地震速報ではさらに問題が

- 観測点数が非常に少ない(~5点)
 - ばらつき・誤差が大きい
- 波形全体を待ってられない
 - 時々刻々情報を更新する作戦

現在の気象庁方式

$$M=1/0.72 \log(\text{Amp})+1.2 \log(\Delta)+0.00050*\Delta-0.0050*D+0.46 \text{ (P波)}$$

$$M=\log(\text{Amp})+\log(\Delta)+0.00110*\Delta+0.0007*D+1.7613 \text{ (全相)}$$

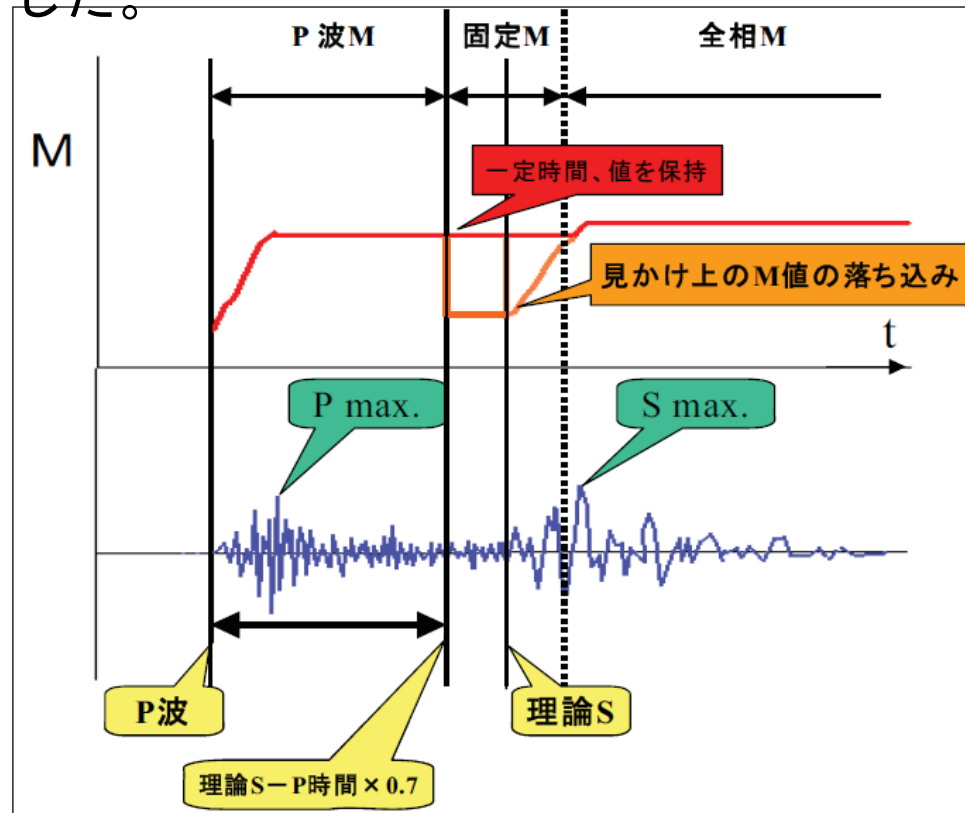
Amp:3成分合成変位振幅(10 μ m単位)

Δ :震源距離(km)

D:震源の深さ(km)

P波部分のみのマグニチュード式の導入

統計式よりPとS(全相)で異なる式を作成。切替時間については経験的にS-P時間 $\times 0.7$ とした。



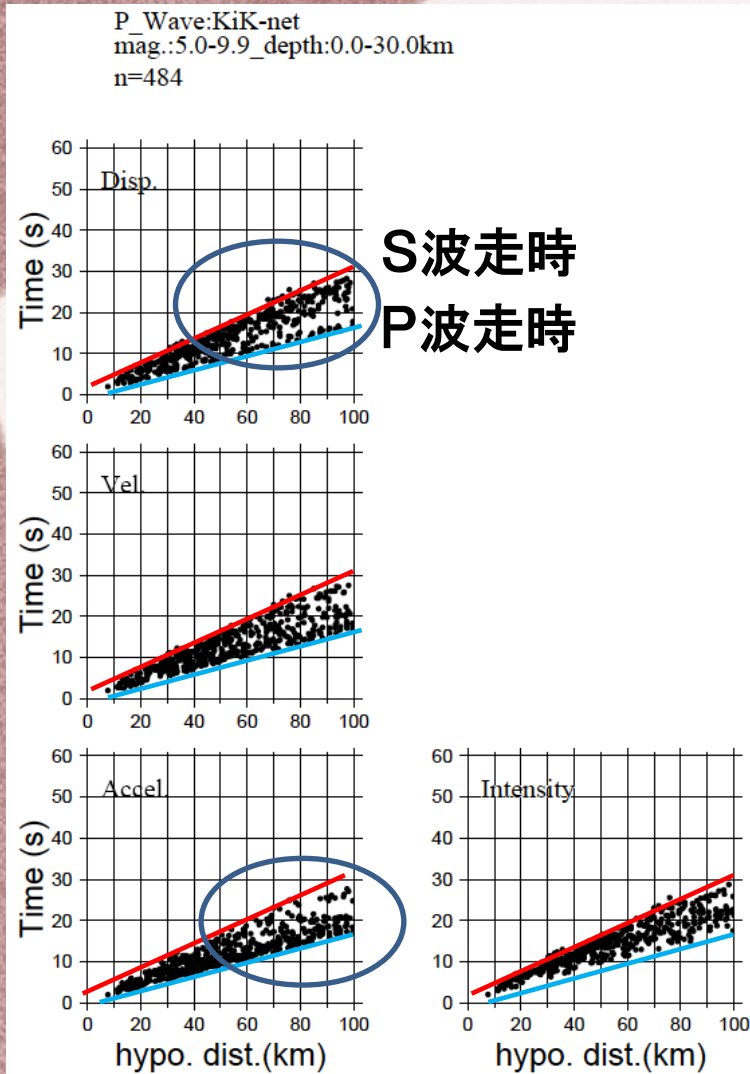
マグニチュード推定の諸問題

- 周波数の問題
- 区間を区切ることによる問題
- 「平均化処理」の問題

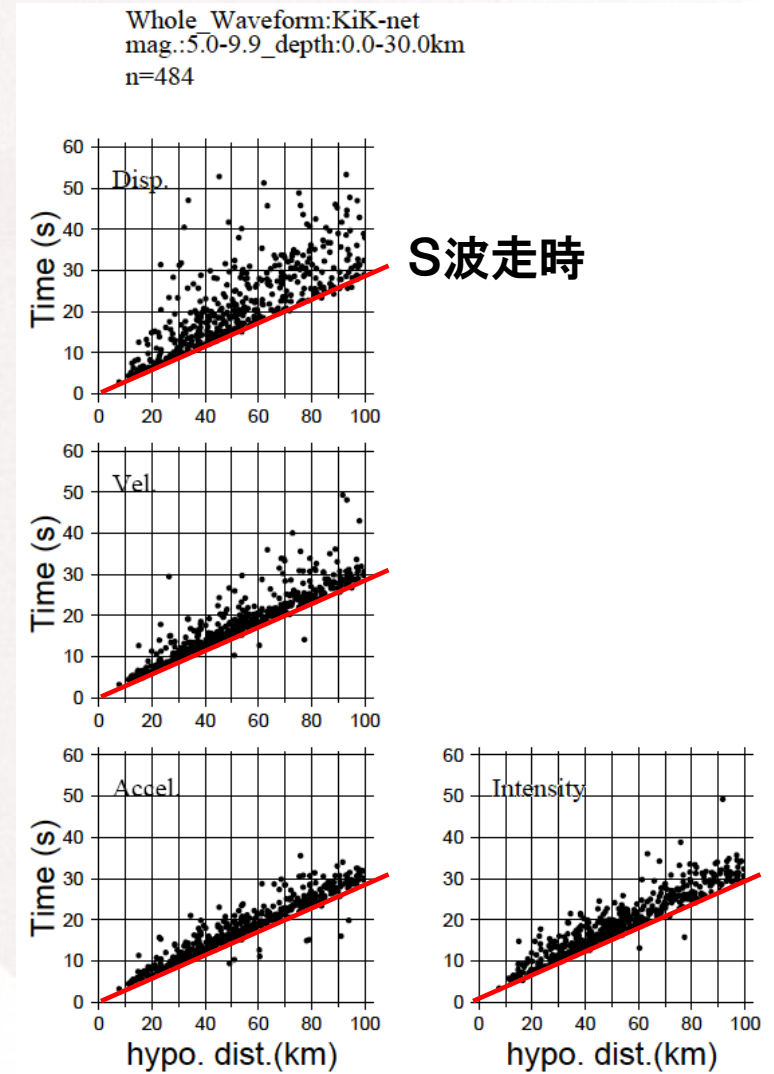
最大動の出現時間

波形全体

P波部分(P波とS波の間)



- P波部分では、
- ・加速度では、比較的P波着信の直後に最大値になるものが多い
 - ・変位では、S波着信の直前になるものが多い



- 波形全体でみると、
- ・加速度が最も早い
 - ・次いで、加速度、震度相当値
 - ・変位は遅いものがある

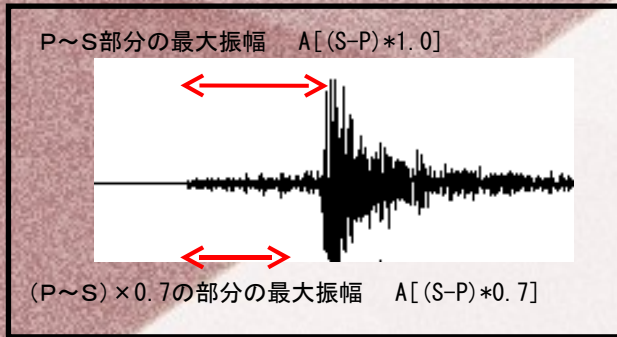
- 周波数の問題

- 迅速性を高めるには、高周波の波の活用が有効(特にP波部分から求めるとき)
- ただし高周波の波は非常に大きな地震では飽和する

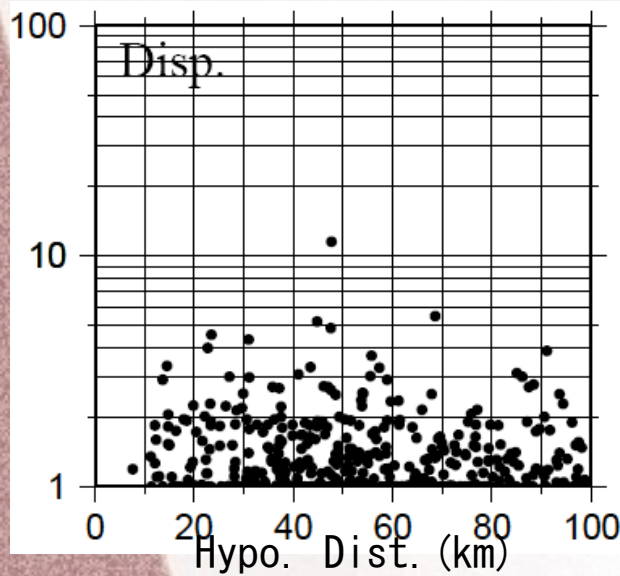
マグニチュード推定の諸問題

- 周波数の問題
- 区間を区切ることによる問題
- 「平均化処理」の問題

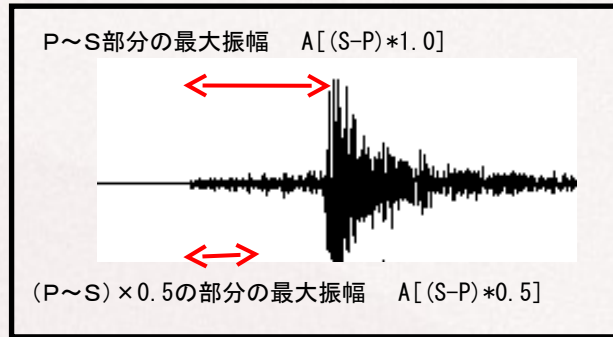
M: 5.0-9.0



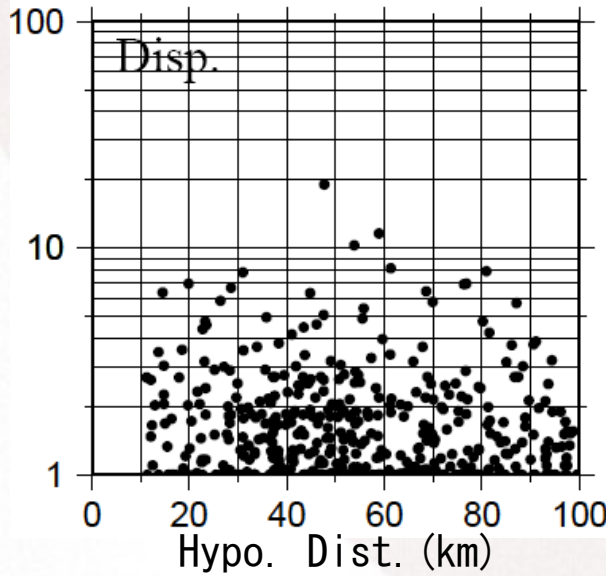
$$H = \frac{A[(S-P)*1.0]}{A[(S-P)*0.7]}$$



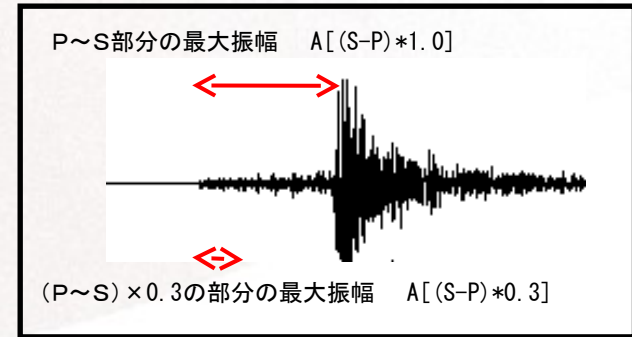
$$\langle \log_{10} H \rangle = 0.11$$



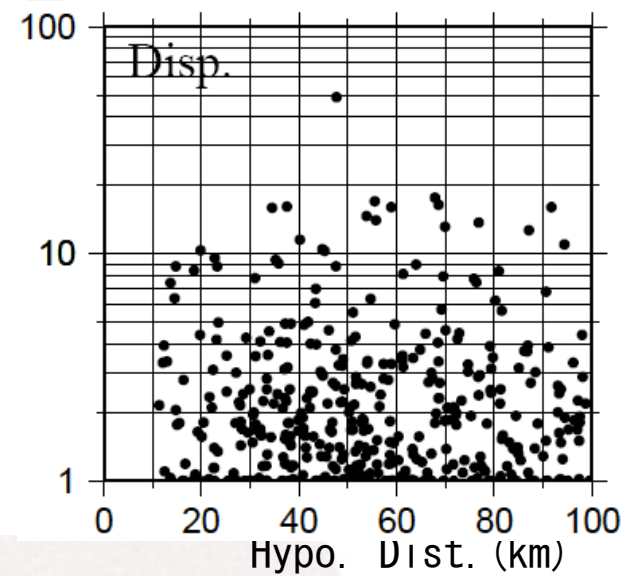
$$H = \frac{A[(S-P)*1.0]}{A[(S-P)*0.5]}$$



$$\langle \log_{10} H \rangle = 0.20$$



$$H = \frac{A[(S-P)*1.0]}{A[(S-P)*0.3]}$$



$$\langle \log_{10} H \rangle = 0.31$$

M計算のlogA項で、

- ・ 0.11 ((P~S) × 0.7の場合)
- ・ 0.20 ((P~S) × 0.5の場合)
- ・ 0.31 ((P~S) × 0.3の場合) のバイアス

最大変位振幅を求める区間を短くすると、Mを過小評価しやすい、という問題が発生する。

最大動の出現時間

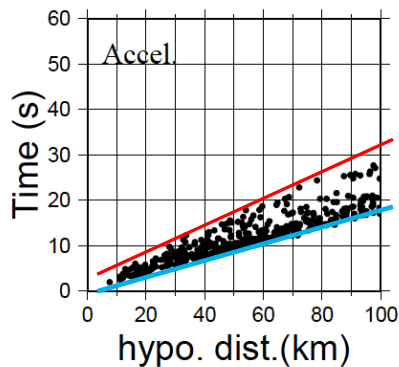
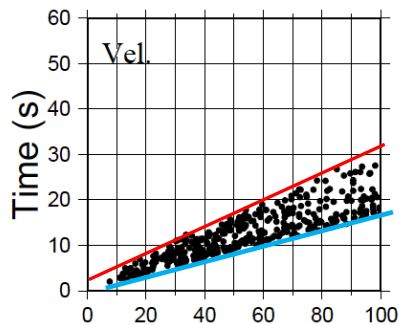
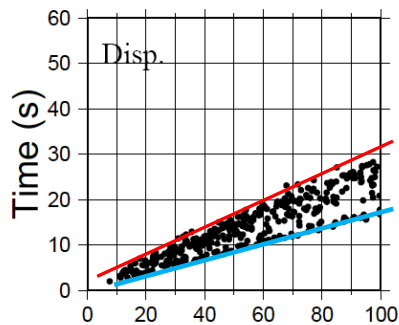
P波部分(P波のS波の間)

M:5.0-5.9

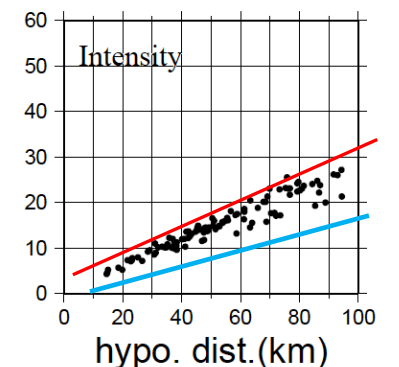
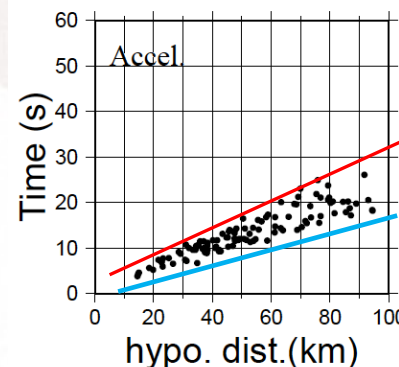
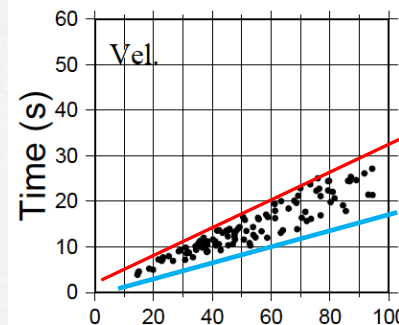
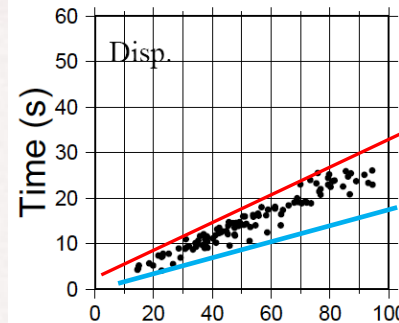
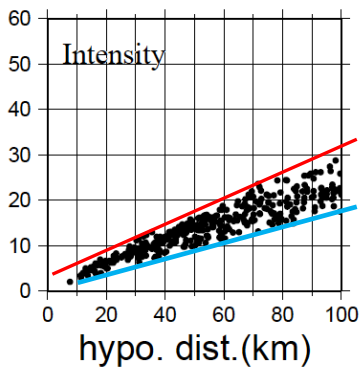
M:6.0-

P_Wave:KiK-net
mag.:5.0-5.9_depth:0.0-30.0km
n=376

P_Wave:KiK-net
mag.:6.0-9.9_depth:0.0-30.0km
n=108



P波部分でも、M
が大きくなると、最
大動が遅れて現
れる

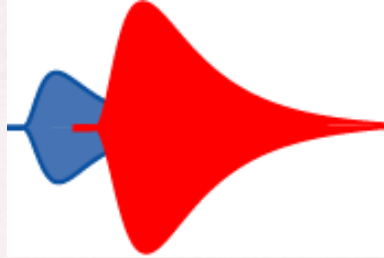


S波最大振幅
P波最大振幅

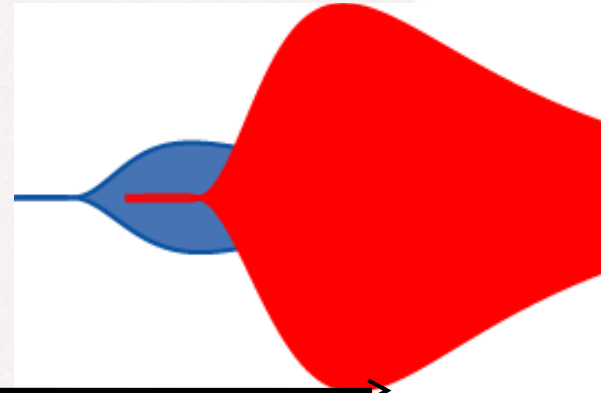
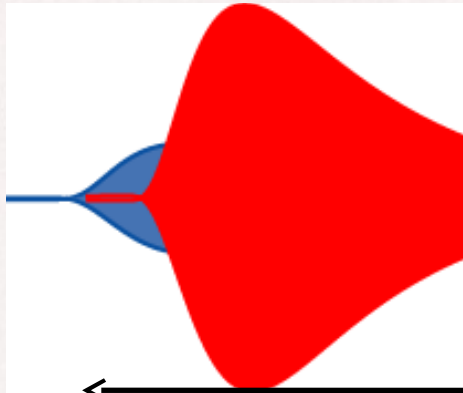
短距離

遠距離

Small



Mが小さい



Mが大きい

Large

Large

Small

Mが大きい地震や、短距離で観測された波形では、Pの最大振幅は、S波でマスクされる



P波Mの式に係数が必要、 α $M = \log A + f(R, D)$

- 区間を区切ることによる問題
 - ばらつきが大きい
 - マグニチュードが大きいと相対的に区間を短く区切ることに相当
 - 補正しようとするとう不安定なフィードバックがかかる

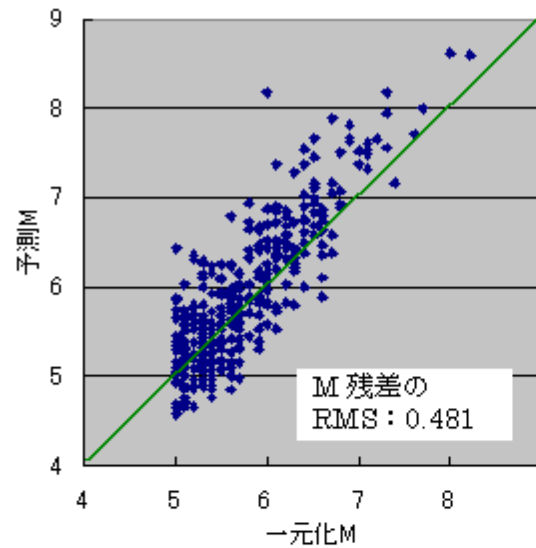
マグニチュード推定の諸問題

- 周波数の問題
- 区間を区切ることによる問題
- 「平均化処理」の問題

現行の平均化処理

- 2点処理：平均をとる。ただし、両者の差が0.5以上ある場合には大きい方をとる。
- 3点処理：平均をとる。ただし、標準偏差が0.35を超える場合は、平均値から最も外れたものを除き、2点処理を行う。
- 4点処理：平均をとる。ただし、標準偏差が0.35を超える場合は、平均値から最も外れたものを除き、3点処理を行う。
- 5点処理：平均をとる。ただし、標準偏差が0.35を超える場合は、平均値から最も外れたものを除き、4点処理を行う。

2点 現行方式



2点 平均

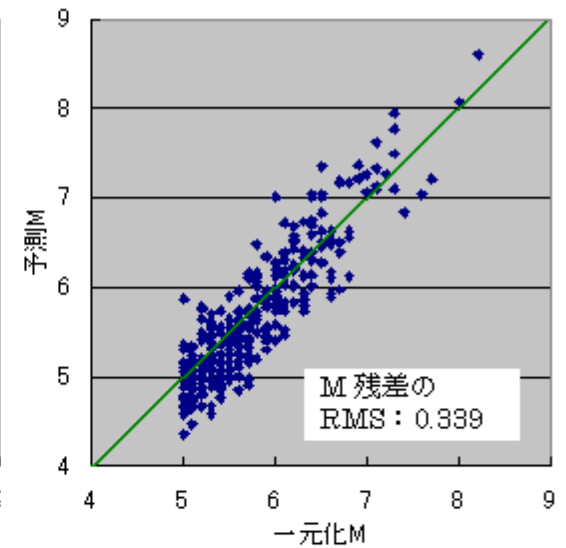
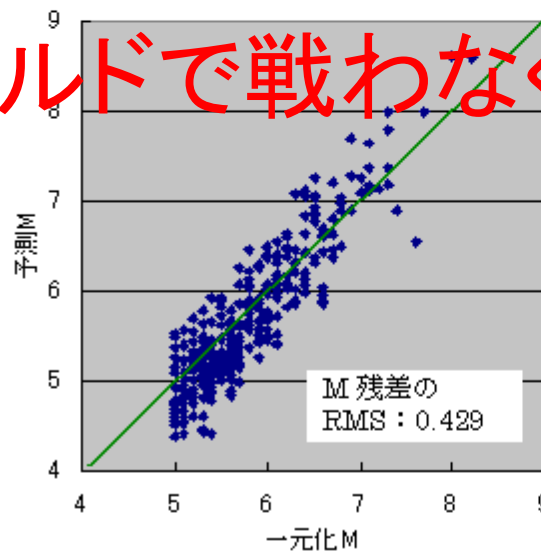
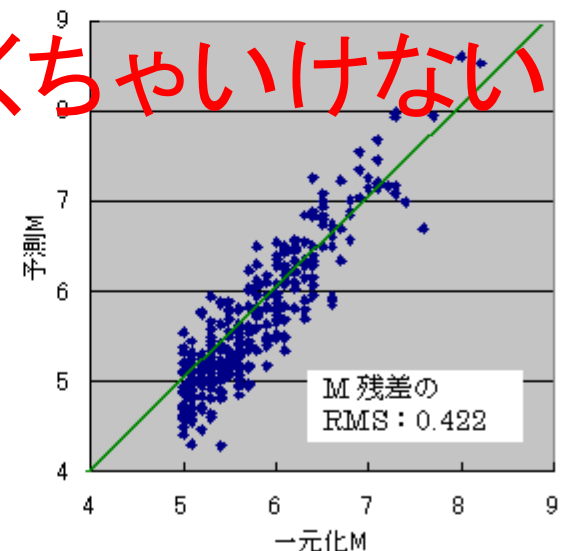


図2-1 新旧のM代表値の結果(2点の場合)
左:現行方式 右:変更後

3点 現行方式



3点 中央値



こんなフィールドで戦わなくちゃいけない

図2-2 新旧のM代表値の結果(3点の場合)
左:現行方式 右:変更後

- 「平均化処理」の問題
 - こんな素性もバラバラな数値を「平均」しなくちゃならない
 - どーすりゃいいの？

マグニチュード推定の諸問題

- 周波数の問題
- 区間を区切ることによる問題
- 「平均化処理」の問題

- その他不均質とか地盤増幅率とか考慮すべきことはいくらでも。

お客様の中に銀の弾丸をお持ちの方は
いらっしゃいませんか？