

長周期地震動予測技術に関する 検討の方向性について

気象庁地震火山部
地震津波監視課

長周期地震動予報のイメージ

地震発生

地震波を検知

長周期地震動階級を予測

予報発表

【課題】

現在の緊急地震速報では、震度を予測し、予報を発表しているが、長周期地震動による高層ビル内の揺れの大きさは震度では分からない。

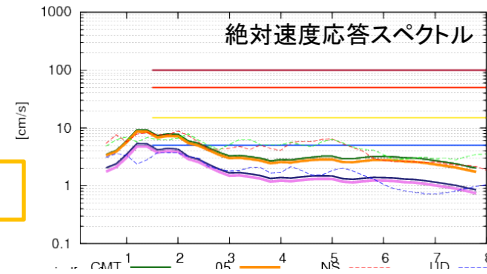
(平成23年度～24年度の検討結果)
高層ビル内における人の体感や行動、什器等の移動・転倒等の指標として、新たに「長周期地震動階級」を策定し、絶対速度応答スペクトルを用いて、観測情報を発表。

※気象庁が対象としている長周期地震動とは、周期1.5秒から8.0秒までの地震動のことをいう。

【本WGにおける検討事項】

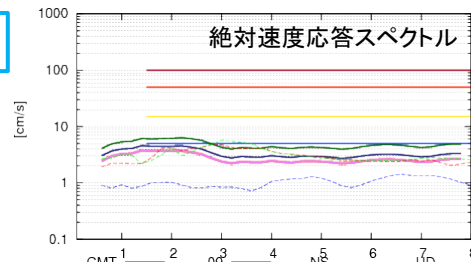
長周期地震動階級を即時的に予測するためにはどのような技術を用いるべきか。

予測対象地点Aでの予測階級は2

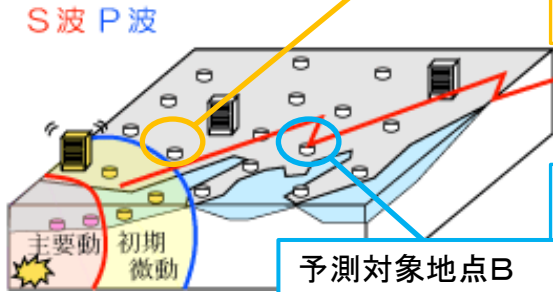


予測対象地点A

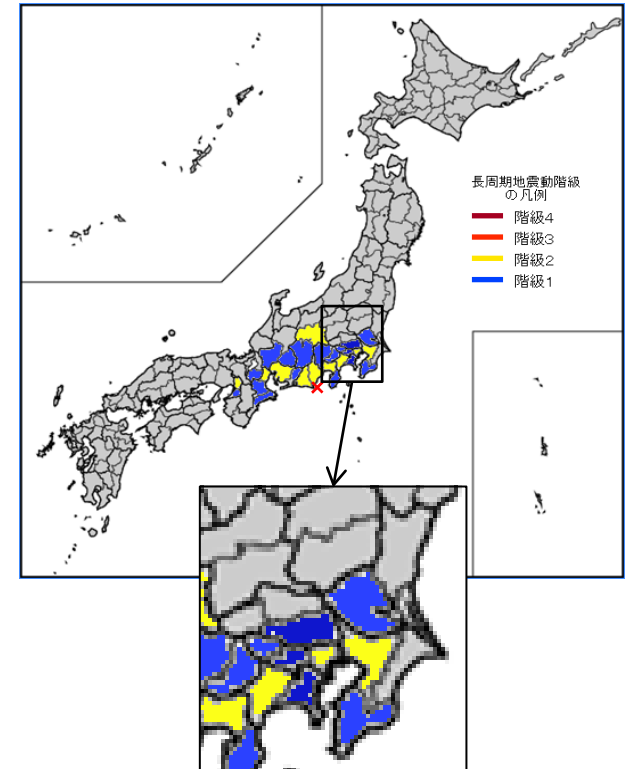
予測対象地点Bでの予測階級は1



予測対象地点B



予報イメージ



※2年程度を目途に長周期地震動予報の試験的な提供開始を目指す

長周期地震動の予測技術として考えられるもの

長周期地震動階級を即時的に予測するための技術のイメージ

緊急地震速報で推定した震源の位置やマグニチュードを用いて長周期地震動階級を予測

①緊急地震速報で推定した震源と予測対象観測点間の距離とマグニチュードから、距離減衰式や地盤情報等を用いて、長周期地震動階級を予測する技術

②緊急地震速報で推定したマグニチュードと震源の位置から、予め計算しておいた想定地震における理論的な地震動予測結果や過去の地震動観測結果のデータベースを用いて、予測対象観測点の長周期地震動階級を予測する技術

実時間に観測されたデータを地震波形等を用いて長周期地震動階級を予測する

③波動場の理論等を用いて、実時間の観測データから予測対象観測点の長周期地震動階級を予測する技術

④緊急地震速報で推定した震源の位置等から求めた地震波の到来方向と、実時間の観測データから観測点間の伝達関数等を用いて、長周期地震動階級を予測する技術

先行的な研究事例を元に作成

長周期地震動の予測技術として考えられるもの①

①緊急地震速報で推定した震源と予測対象観測点間の距離とマグニチュードから、距離減衰式や地盤情報等を用いて、長周期地震動階級を予測する技術

本技術のメリット

- ・任意の震源の位置やマグニチュードから長周期地震動階級を予測することが可能
- ・任意の位置における長周期地震動階級を予測することが可能
- ・簡単な式で計算可能であり、予測結果の算出が速い

本技術のデメリット

- ・緊急地震速報の震源位置やマグニチュードの推定精度に依存する。
- ・距離減衰式を作成した事例よりも遠方は外挿となる。

先行的な研究の事例：

座間・遠藤（2009）緊急地震速報に基づくリアルタイムスロッシング予測、消防研究所報告 第106号 p.17-22

事前に作成

加速度フーリエスペクトルの距離減衰式

海溝型地震に対して：

$$F_c(T) = 4.8 \cdot 10^{0.5M - 1.5} \exp(-\alpha \cdot r) / r^{0.5} \quad (6.9 \leq M) \quad (1)$$

$$F_c(T) = 4.8 \cdot 10^{1.25M - 6.7} \exp(-\alpha \cdot r) / r^{0.5} \quad (6.2 \leq M < 6.9) \quad (2)$$

$$F_c(T) = 4.8 \cdot 10^{0.5M - 2.1} \exp(-\alpha \cdot r) / r^{0.5} \quad (M < 6.2) \quad (3)$$

内陸地震に対して：

$$F_c(T) = 4.8 \cdot 10^{0.5M - 2} \exp(-\alpha \cdot r) / r^{0.5} \quad (6.8 \leq M) \quad (4)$$

$$F_c(T) = 4.8 \cdot 10^{0.6M - 2.76} \exp(-\alpha \cdot r) / r^{0.5} \quad (6.4 \leq M < 6.8) \quad (5)$$

$$F_c(T) = 4.8 \cdot 10^{0.9M - 4.68} \exp(-\alpha \cdot r) / r^{0.5} \quad (M < 6.4) \quad (6)$$

ここで、 $\alpha = 0.001 \text{ km}^{-1}$ 。

$F_c(T)$ と観測スペクトル $F_o(T)$ の比の平均を地震地体構造区分と観測点ごとに求め、これを地域特性 $R(T)$ とすると、対象とする地震 $[M, r]$ に対しては、 $F_c(T, M, r) \cdot R(T)$ によって簡単に速度応答スペクトルを得ることができる。

震源位置による観測点での震動特性

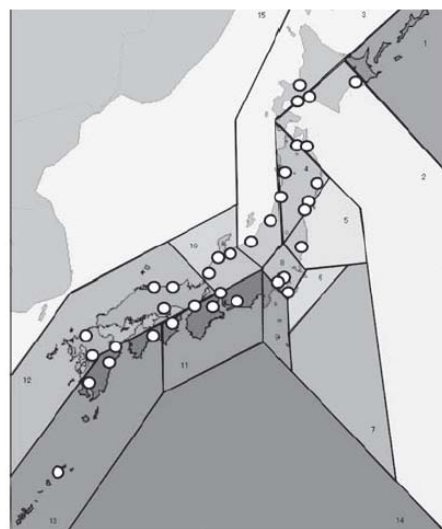


図1 用いた地震地体構造区分¹²⁾と観測点（気象官署）

緊急地震速報の震源やマグニチュードの情報からリアルタイムで予測

緊急地震速報で震源座標が与えられたときには、以下の手順でスペクトルの予測を行う。

- 1) 震源が図1の地体構造区分のどこに含まれるかを計算する。
- 2) 該当する $R_{ij}(T)$ を抽出する。
- 3) 震源座標と観測 (= 予測対象) 点座標とから震央距離 r を求める。
- 4) 海溝型と内陸型地震との判別および、 M から、用いるべき距離減衰式 $F_c(T, M, r)$ を(1)~(6)の中から選択する。
- 5) $F_c(T, M, r) \cdot R_{ij}(T)$ によってスペクトルを推定する。

長周期地震動の予測技術として考えられるもの②

②緊急地震速報で推定したマグニチュードと震源から、予め計算しておいた想定地震における理論的な地震動予測結果や過去の地震動観測結果のデータベースを用いて、予測対象観測点の絶対速度応答スペクトル等を予測する技術

本技術のメリット

- ・理論的な地震動予測を行う際に地盤や伝播経路の影響等を考慮しておくことが可能
- ・任意の位置における長周期地震動階級を予測することが可能
- ・データベースから選択するだけであるため、予測結果の算出が速い

本技術のデメリット

- ・緊急地震速報の震源位置やマグニチュードの推定精度に依存する。
- ・膨大なパターンのシミュレーションを行う必要があり、データベースの作成に時間を要する。
- ・モデル地震や過去の地震と規模や震源過程等が異なる地震では予測値が大きく異なる可能性が高い

先行的な研究の事例：

久保ほか（2009） 緊急地震速報を活用した長周期地震動予測と超高層ビルのエレベータ制御への適用
 日本地震工学会論文集 第9巻、第2号（特集号） p. 31-50

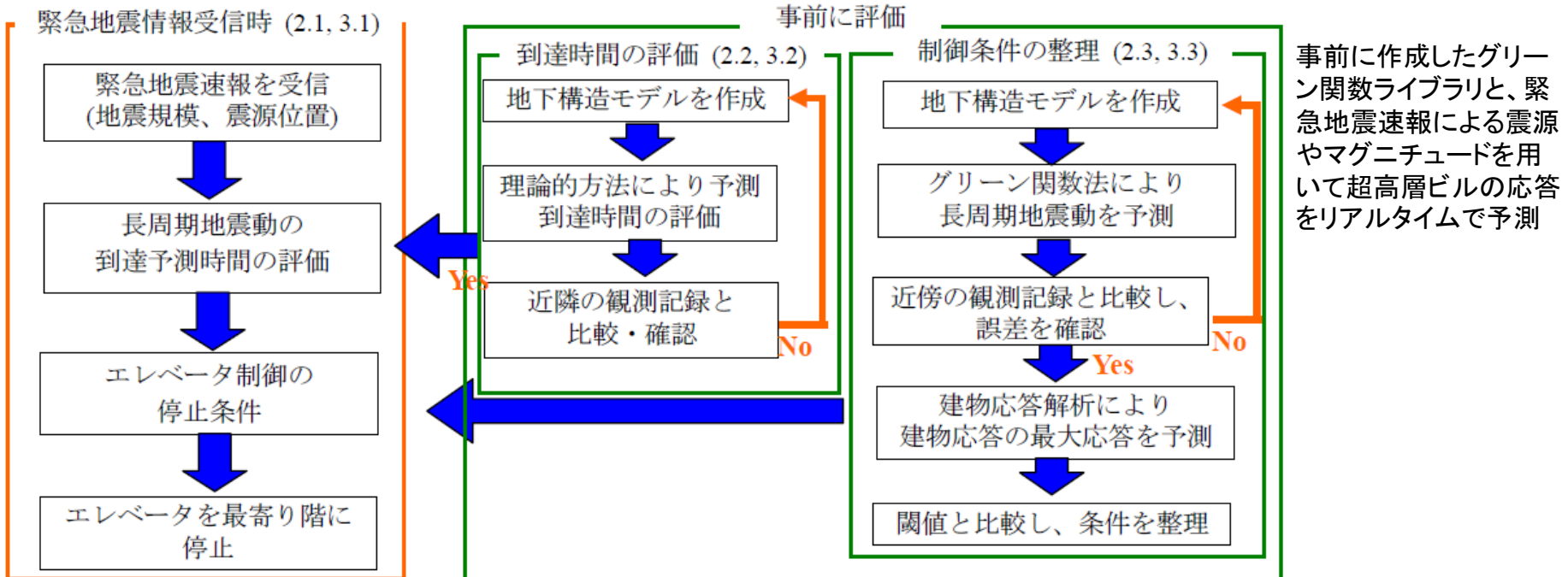


図1：長周期地震動を対象としたエレベータ制御のフロー図

長周期地震動の予測技術として考えられるもの③

③波動場の理論等を用いて、実時間の観測データから予測対象観測点の波形を予測する技術

メリット	デメリット
<ul style="list-style-type: none"> ・緊急地震速報の震源位置やマグニチュードの推定精度に依存しない ・実際に観測されている波形を用いるので精度が高まる ・震源過程等の仮定の影響を受けにくい 	<ul style="list-style-type: none"> ・波形予測精度は地震波形がリアルタイムで入電可能な地震観測点数に依存する(観測点密度が高い必要がある) ・地震波が近づいてから予測を行うため、震源から離れた観測点でもリードタイムが長くない

先行的な研究の事例：

干場（2012）データ同化，実時間サイト補正，伝播理論による時間発展型の地震動予測
 2012年度地震研究所研究集会「地震動の即時予測と防災に向けた情報の活用」資料

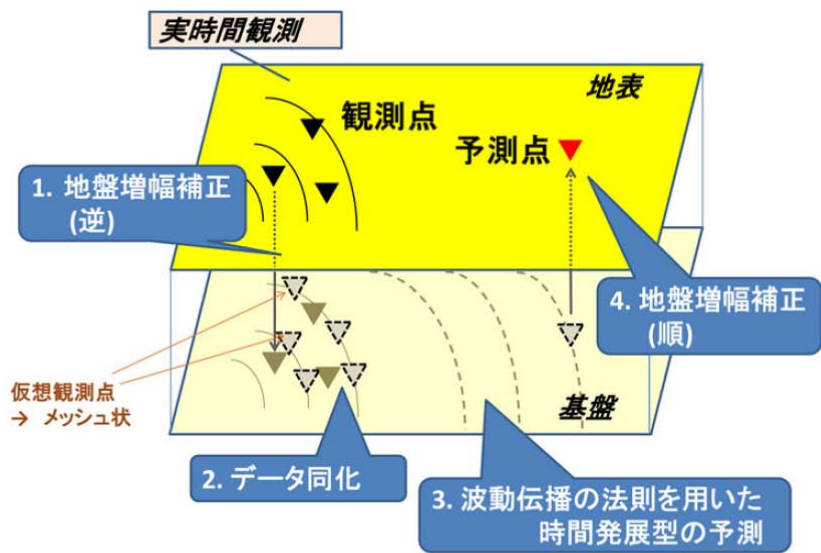


図 1b. 実時間地震動予測の処理の流れの概念図.

現時点 ($t=t_c$)での波動場を初期値として Δt 後の波動場を予測
 $u(x, t_c + \Delta t) = H(u(x, t_c)) \dots \textcircled{1}$
 $u(x, t)$ は、場所 x での時刻 t の波動
 H は予測演算子.
 H として、例えば、差分法その他、干場(2011)はKirchhoff-Fresnel積分による境界積分方程式法を時間軸上で行うことを提案

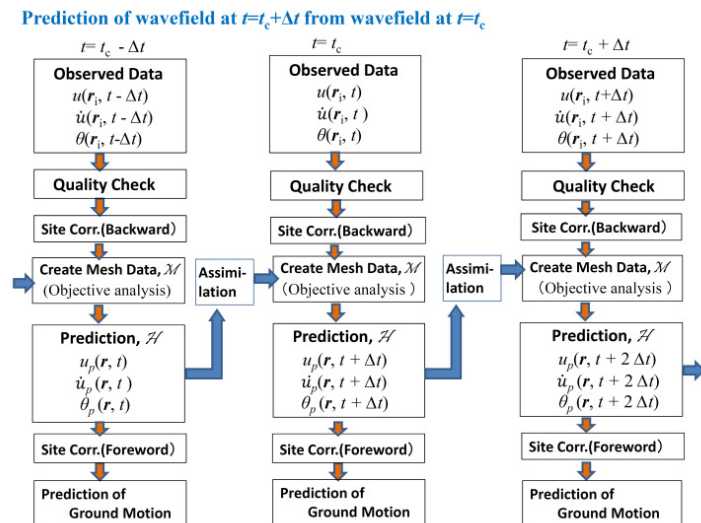


図 1. 実時間地震動予測の処理の流れの概念図.

長周期地震動の予測技術として考えられるもの④

④緊急地震速報で推定した震源の位置、または、実時間の観測データから求めた地震波の到来方向と、観測点間の伝達関数等を用いて、長周期地震動階級を予測する技術

本技術のメリット

- ・緊急地震速報のマグニチュードの推定精度に依存しない
- ・実際に観測されている波形を用いるので精度が高まる

本技術のデメリット

- ・予測が可能な地点は過去に地震波形が得られている観測点のみとなる
- ・数多くの観測点間の伝達関数を作成する必要があり、過去の地震での観測結果に依存する。
- ・伝搬経路の影響が同じという仮定が必要

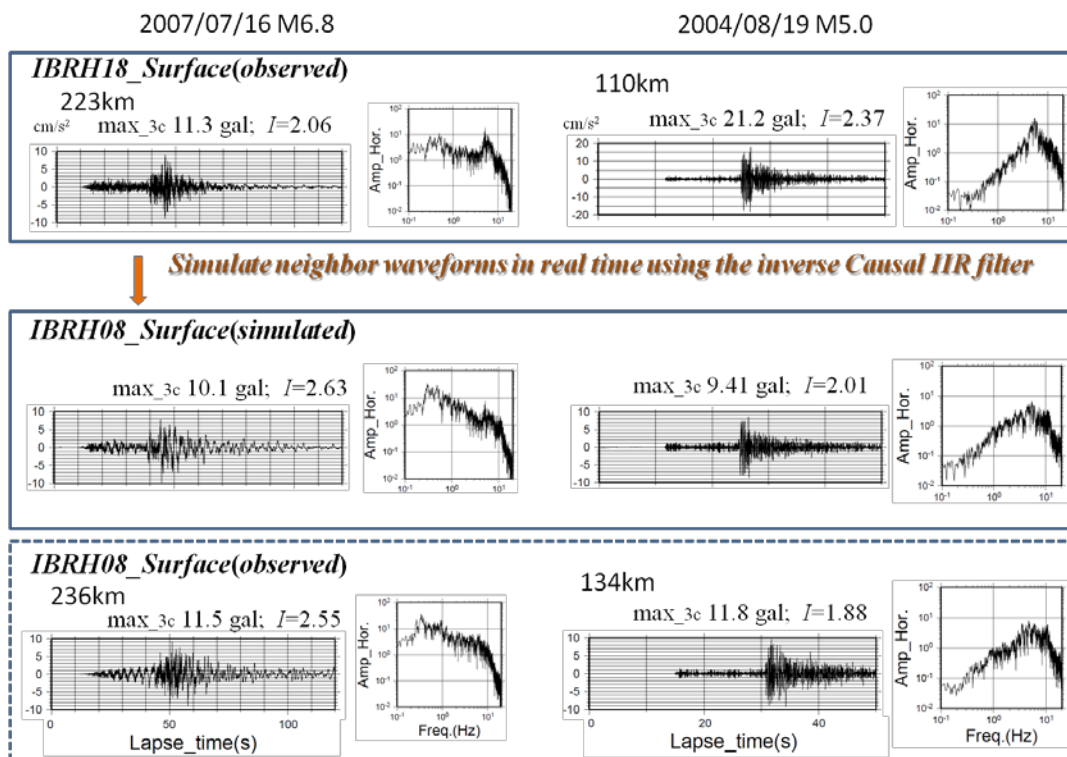
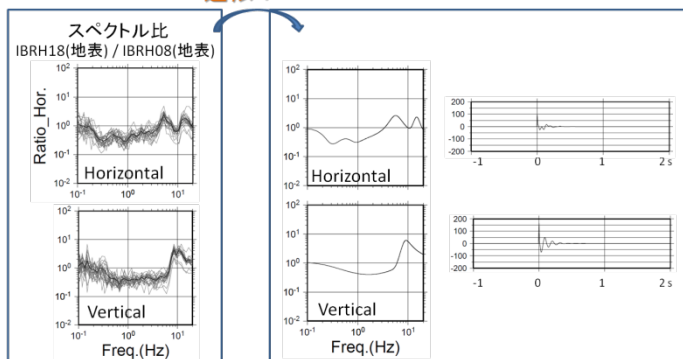
先行的な研究の事例：

干場（2012）データ同化，実時間サイト補正，伝播理論による時間発展型の地震動予測

2012年度地震研究所研究集会「地震動の即時予測と防災に向けた情報の活用」資料より



近似!



長周期地震動の予測技術として考えられるもののメリット／デメリット

具体的な技術のイメージ	メリット	デメリット
①緊急地震速報で推定したマグニチュードと、震源と予測対象観測点間の距離から、距離減衰式や地盤情報等を用いて、絶対速度応答スペクトル等を予測する技術	<ul style="list-style-type: none"> ・任意の震源の位置やマグニチュードから長周期地震動階級を予測することが可能 ・任意の位置における長周期地震動階級を予測することが可能 ・簡単な式で計算可能であり、予測結果の算出が速い 	<ul style="list-style-type: none"> ・緊急地震速報の震源位置やマグニチュードの推定精度に依存する。 ・距離減衰式を作成した事例よりも遠方は外挿となる。
②緊急地震速報で推定したマグニチュードと震源から、予め計算しておいた想定地震による理論的な地震動予測結果や過去の地震動観測結果のデータベースを用いて、予測対象観測点の絶対速度応答スペクトル等を予測する技術	<ul style="list-style-type: none"> ・理論的な地震動予測を行う際に地盤や伝播経路の影響等を考慮しておくことが可能 ・任意の位置における長周期地震動階級を予測することが可能 ・データベースから選択するだけであるため、予測結果の算出が速い 	<ul style="list-style-type: none"> ・緊急地震速報の震源位置やマグニチュードの推定精度に依存する。 ・膨大なパターンのシミュレーションを行う必要があり、データベースの作成に時間を要する。 ・モデル地震や過去の地震と規模や震源過程等が異なる地震では予測値が大きく異なる可能性が高い
③波動場の理論等を用いて、実時間の観測データから予測対象観測点の波形を予測する技術	<ul style="list-style-type: none"> ・緊急地震速報の震源位置やマグニチュードの推定精度に依存しない ・実際に観測されている波形用いるので精度が高まる ・震源過程等の仮定の影響を受けにくい 	<ul style="list-style-type: none"> ・波形予測精度は地震波形がリアルタイムで入電可能な地震観測点数に依存する(観測点密度が高い必要がある) ・地震波が近づいてから予測を行うため、震源から離れた観測点でもリードタイムが長くない
④緊急地震速報で推定した震源の位置、または、実時間の観測データから求めた地震波の到来方向と、観測点間の伝達関数等を用いて、長周期地震動階級を予測する技術	<ul style="list-style-type: none"> ・緊急地震速報のマグニチュードの推定精度に依存しない ・実際に観測されている波形用いるので精度が高まる 	<ul style="list-style-type: none"> ・予測が可能な地点は過去に地震波形が得られている観測点のみとなる ・数多くの観測点間の伝達関数を作成する必要があり、過去の地震での観測結果に依存する。 ・伝搬経路の影響が同じという仮定が必要