

### 1.3. P波PGAの飽和域を用いた巨大地震に対応した緊急地震速報の高度化

倉橋奨

#### 1. はじめに

「緊急地震速報」を地震災害の軽減のために有効活用できるようにするには、直下地震のときに震源近傍域で間に合わない、震源断層の面的な広がりが考慮されていない、など緊急に改善の必要とされる課題がある。なかでも差し迫った東海、東南海、南海地震などの巨大地震が発生したときに、緊急地震速報が災害軽減に有効な情報を提供できるかどうかはこのシステムの真価が問われる課題といえる。ここでは、緊急地震速報をより効果的に地震災害の軽減に活かしていくための問題点として、1) 内陸の直下地震のときに震源近傍の被害発生の高い地域への間に合う情報伝達、2) 巨大地震が発生したとき、震源断層の広がりを考慮した震度情報の伝達、などの問題点を解決する方策について述べる。

#### 2. 巨大地震の断層破壊の広がりの推定

大きな地震被害が引き起こされるマグニチュード8クラスの地震では、震源域が100km以上にもおよぶ。地震動は破壊開始点からのみではなく断層破壊域の全域から生成されるため、地震の震源を点ではなく広がりのある震源域をリアルタイムに把握する必要がある。本研究は、主要動のS波が到達するまでの上下動成分の最大動から、P波震動のPGAの飽和域（震源近傍におけるPGAの頭打ちの領域）を推定し、断層破壊域を評価することを旨とする。

図1には、中越地震と岩手宮城内陸地震におけるP波PGAとS波PGAの距離減衰の図を示す。この図のS波PGAの距離減衰の関係は、断層最短距離が短くなるにつれてPGAが大きくなるが、20km付近から近い観測点では、距離とは関係なくほぼ同じ振幅になっている。この関係は、集集地震や四川地震でも成り立っており、地震規模には依存せずに、震源近傍ではPGAが飽和することがいえる。同様に、図1左図に示されるP波PGAと断層最短距離との関係も、中越地震、岩手宮城内陸地震では、断層最短距離が20km付近より短くなるとP波PGAが一定になる傾向にある。したがって、P波に関してS波同様に、断層最短距離が短くなるとPGAが飽和するといえる。しかしながら、図2左図に示すように、巨大地震である集集地震に関しては、断層最短距離の短い観測点の中に、P波PGAが必ずしも大きくない観測点が存在することがわかった。この飽和しない観測点について検討したところ、破壊域からの断層最短距離は近いが、破壊開始点からは遠い地点であることがわかった。このことから、破壊開始点で生成されたS波が到来した後に、観測点近くの破壊域から生成されたP波が到来するため、破壊開始点から生成されたS波までの記録内には、破壊面から生成されたP波は記録されないためと考えられる。すなわち、破壊域の大きな巨大地震に対応させるためには、点震源ではなく、面的な震源を考えなければいけないことを示唆している。

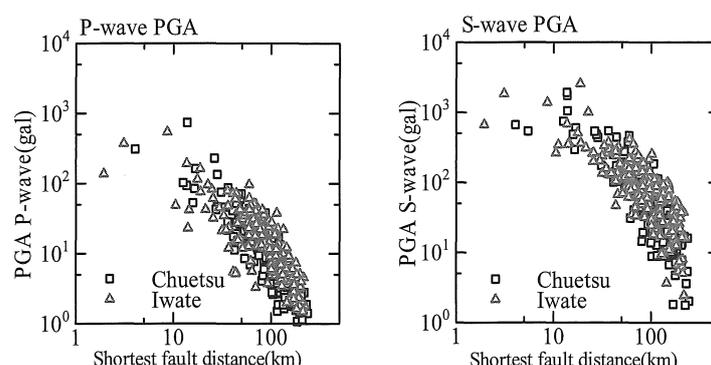


図1 中越地震、岩手宮城内陸地震のP波PGA（左図）とS波PGA（右図）と断層最短距離の関係

### 3. UD 成分の観測記録を用いた飽和域の推定

断層面が大きくなる規模の大きな地震では、P-S 時間内の P 波のみでは、飽和域から断層面を推定することは難しい。しかしながら、断層面から生成された P 波は、必ず S 波よりも先に到達するはずあり、その P 波から飽和域を推定できれば、主要動となる S 波が到達する前に震源断層相当域を推定できると考えられる。そこで、本研究では、UD 成分に、P 波成分が多く含まれると仮定して、UD 成分から P 波の飽和域を推定することを試みる。図 3 左図には、集集地震の EW 成分と UD 成分の観測記録を示す。UD 成分の最大動は、EW 成分の最大動よりも若干早く着信しており、主要動の最大動を利用するよりも若干早く情報提供が可能と考えられる。

図 3 右図に、集集地震における、P 波部分の PGA (黒□) と上下動成分の PGA (赤□) の距離減衰を示す。上下動成分を用いれば、飽和域を推定することで可能であることがわかる。各地震における S 波の PGA になるまでの記録を用いた、UD 成分の PGA の距離減衰が図 4 左図に示す。中越地震、岩手宮城内陸地震、四川地震、集集地震ともに、断層最短距離が短くなる地点でも PGA が飽和することがわかる。

集集地震における UD 成分の PGA 分布が図 4 右図に示す。この図面から、UD 成分 PGA と波形インバージョンによる断層域とは、UD 成分 PGA の 150gal 以上の地点と、断層の大きさがよく近似していることがわかる。

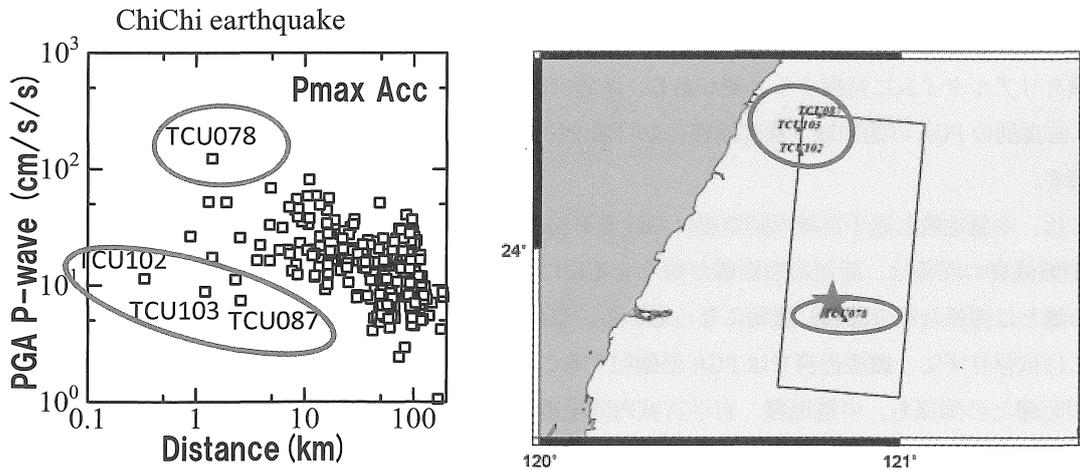


図 2 集集地震の P 波 PGA (左図) と震源近傍で P 波 PGA の大きくない観測点の空間図 (右図)

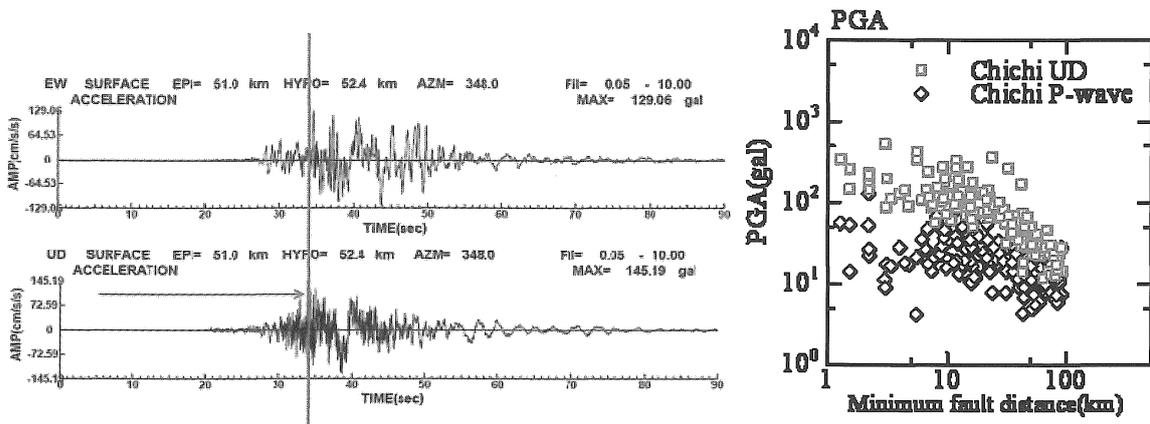


図 3 集集地震の EW 成分と UD 成分の観測記録 (左図) と P 波 PGA (黒□) と UD 成分 PGA (赤□) の距離減衰関係 (右図)

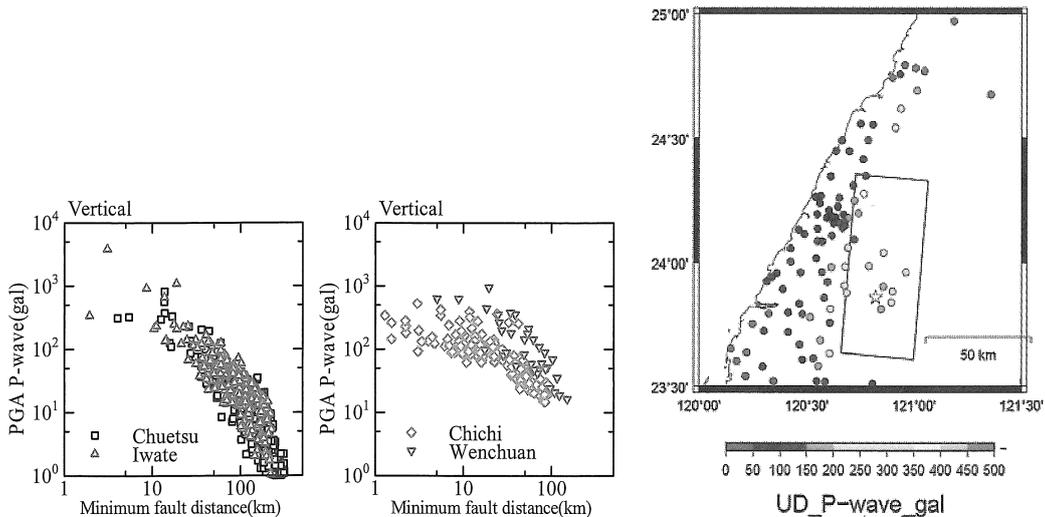


図4 中越、岩手宮城内陸、四川、集集地震の UD 成分 PGA の距離減衰関係（左図）と集集地震における、波形インバージョンによる破壊域と UD 成分の PGA との空間的な関係（右図）

#### 4. 上下動成分のサイト特性の特徴

本研究の方法では、上下動成分の PGA のばらつきが大きいと、中小規模地震では震源断層相当域を過大評価、また大規模地震では過小評価となる可能性がある。そのため、安定した PGA となるような処理を行う必要性が考えられる。ここでは、観測記録に含まれるサイト特性に注目し、P 波上下動成分、S 波水平動成分のサイト特性の傾向の検討を行った。

本研究で推定するサイト特性は、距離減衰式と PGA との比で表現することとした。距離減衰式は、今回利用する中越地震の余震記録を用いて、2 ステップ法により求めた。使用した余震は  $M_j4.5 \sim M_j6.5$  のもので 19 個である。図 5 に距離減衰式と P 波上下動成分の PGA との比較の一例を示す。これらの比をサイト特性とした。推定した距離減衰式は、観測記録を満足するものが得られているが、震源近傍の記録では、距離減衰式よりも大きくなっているものがある。実務で利用する場合は、このような観測記録の取り扱いにより、飽和域の推定を誤る可能性がある。この原因の一つとして、サイト特性の影響が考えられる。

図 6 には、震源近傍の観測点の NIG019（小千谷）における P 波上下動成分、S 波上下動成分、S 波水平動成分の PGA から推定されたサイト特性と距離減衰式の PGA との比較図を示す。□は余震、○は本震を示す。S 波水平動に関しては、PGA が大きくなると、サイト特性も小さくなる傾向となった。これは、非線形効果により見かけ上増幅度が小さくなったと考えられるが、今後詳細な検討が必要である。一方で、P 波サイト特性はばらつきが小さく、振幅依存性は若干みられる程度であり、S 波水平動よりも変化率は小さい。これは、P 波上下動成分により飽和域を推定する場合、S 波水平動よりも安定して推定することが可能であることを示唆している。

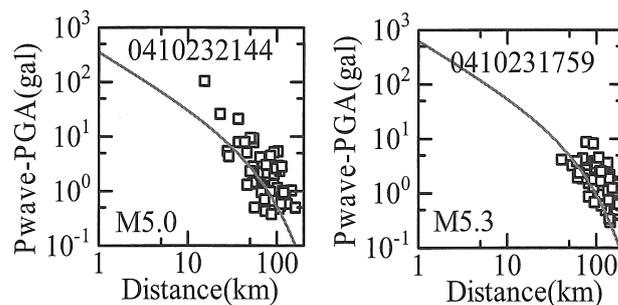


図5 本研究で作成した距離減衰式と P 波上下動成分の PGA との比較

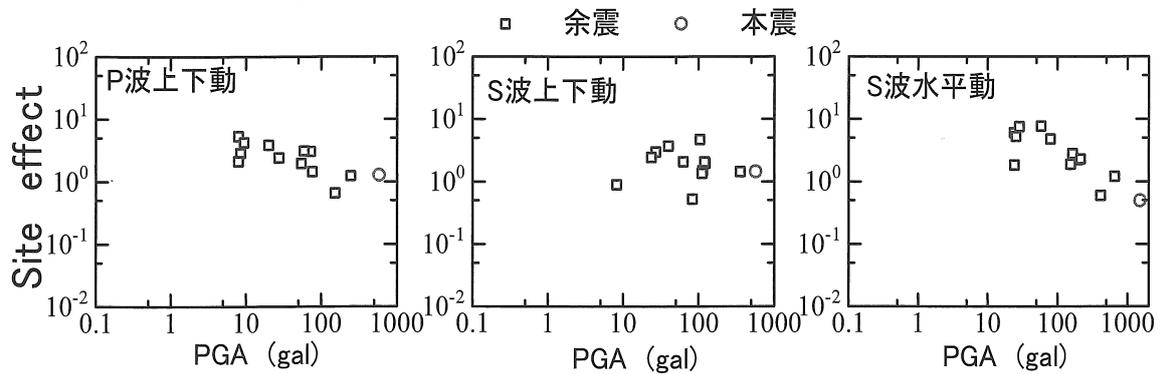


図6 震源近傍の観測点のNIG019（小千谷）におけるP波上下動成分、S波上下動成分、S波水平動成分のPGAから推定されたサイト特性と距離減衰式のPGAとの比較図

## 5. まとめ

緊急地震速報が、巨大地震のとき予測震度が過小評価される、などの問題を解決する方策を検討した。直下地震に対してより早く震度情報を出すためには、P波が主成分である加速度記録の上下成分の最大値（PGA）からマグニチュードを評価する方法が有効である。巨大地震のときの問題の解決のためには、これまでの点震源を仮定したマグニチュードを推定し、距離減衰式から震度を評価する方法を脱却する必要がある。その方法の一つとして、本研究では、P波が主成分である加速度記録の上下成分の最大値（PGA）と断層最短距離との関係を調べ、このPGAが震源近傍地点で飽和域をもつことを明らかにした。この飽和域から、地震の断層破壊域の推定を推定する可能性が検討された。S波の最大動が到達する前までの上下動成分の最大加速度の監視により、大局的な破壊域の推定が可能と考えられる。しかしながら、破壊域と現在の地震計設置の密度を比べると、地震計の数が少ないと考えられ、今後も高密度な地震観測網を構築する必要がある。