強震動予測レシピとその国際展開

三宅弘恵[1)]，入倉孝次郎[2)]，藤原広行[3)]，森川信之[3)]，
前田宜浩[3)]，岩城麻子[3)]

1) 東京大学地震研究所
2) 愛知工業大学
3) 防災科学技術研究所

要　約

強震動予測レシピとは，地震調査研究推進本部の全国地震動予測地図において，震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）[1)]として，強震動予測手法の構成要素となる震源特性，地下構造モデル，強震動計算，予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定にあたって一連の考え方が取りまとめられたものを指す．強震動予測における広帯域震源モデリングは，地震ハザード評価において重要な役割を担っており，レシピでは特性化震源モデルが使われている．本稿では，レシピに関して，南カリフォルニア地震センターや国際原子力機関などの国際的な活用事例を含めて紹介する．

キーワード：　強震動予測，特性化震源モデル，広帯域地震動シミュレーション

1. はじめに

近年，大規模な地殻内地震において質の高い強震動が記録されるようになった．強震記録の蓄積は，地震の震源破壊過程，伝播経路や地盤増幅効果，地震動と地震被害の関係などについて重要な知見をもたらす．これらを活用して強震動を予測することは，地震災害軽減において極めて重要である．

一般に，強震動予測の多くは地震動予測式を用いて行われる．しかし，1992年米国ランダース地震，1994年米国ノースリッジ地震，1995年兵庫県南部地震のような地震シナリオを加味した広帯域地震動を予測するには，指向性パルスが生成可能で，時刻歴波形を有する強震動予測手法が必要となる．

入倉・三宅 (2001)[2)]は，地殻内のシナリオ地震を対象に，将来の強震動を予測するためのレシピを開発した．このレシピは，震源モデルと現実的なグリーン関数から広帯域地震動を予測することに焦点を当てている．レシピの枠組みを図1に示す．実際の地震による強震動は，(1)対象地域周辺の地震活動のモニタリングや活断層の現地調査，(2)強震動の観測，(3)対象地域の地下構造の探査，などの総合的な情報に基づいて評価される．強震動を予測するために重要なのは，地震シナリオごとの震源モデルと，震源からサイトまでのグリーン関数の推定である．特定の地震に対する震源モデルは，(1)と(2)の解析から導き出される．グリーン関数は(2)と(3)の解析から推定される．その後，震源モデルとグリーン関数を用いて地震動を予測する．さらに，過去のデータと予測された地震動を比較し，結果を検証する流れとなる．

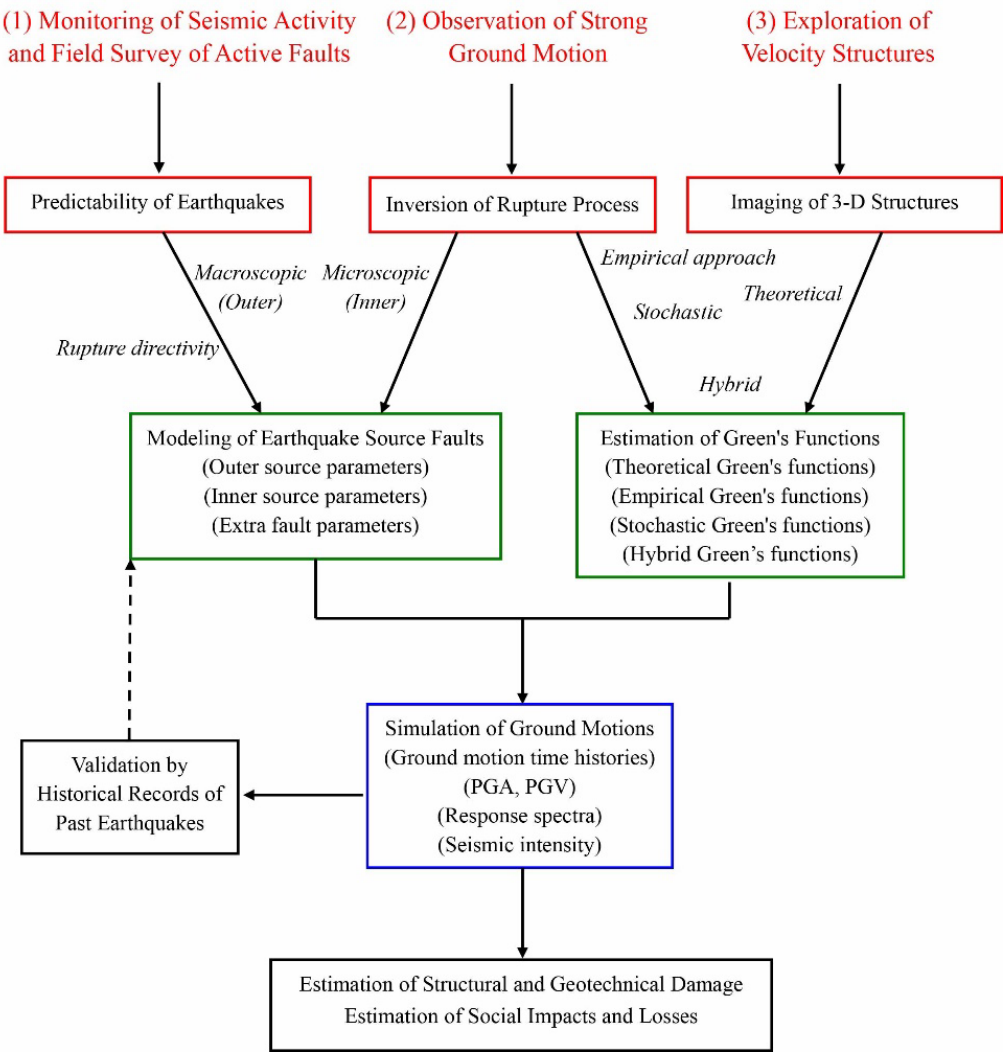

図1　シナリオ地震の強震動予測レシピの枠組み[3].

2.　震源の特性化

近年の強震動データの波形インバージョンの発展により，強震動は主に破壊領域全体の平均すべりよりも，震源内部のすべり不均一性に関係することが知られるようになった．Somerville et al. (1999)[4]は，アスペリティを，断層上の破壊領域の平均すべりよりも大きなすべりを持つ領域として定量化した．また，アスペリティ領域は，破壊領域全体と同様に，全地震モーメントでスケーリングできることを発見した．その後，Miyake et al. (2003)[5]は，地殻内地震において，応力降下が大きい強震動生成域がアスペリティとほぼ一致することを見出した．

Somerville et al. (1999)[4]のすべりの特性化を基に，Miyake et al. (2003)[5]は，図2に示される，応力降下を伴う少数の強震動生成域とその周辺のすべり量の少ない背景領域からなる特性化震源モデルを提案した．特性化震源モデルを用いた地震動シミュレーションは，広帯域の周期範囲において観測記録とよく一致した．

以上の知見を基に，Irikura and Miyake (2011)[3]では，Das and Kostrov (1986)[6]の単一アスペリティ震源モデルを拡張した多重アスペリティ震源モデルに基づいて，強震動を予測するための震源特性の考え方を導入した．特性化震源モデルと波形インバージョンモデルによるすべり分布の関係は，Boatwright (1988)[7]の多重アスペリティ震源モデルにおける応力とすべりの関係に似ており，レシピの根幹の概念となっている．また，短周期レベルのスケーリング則の活用により，アスペリティ面積や応力降下量を規定した．

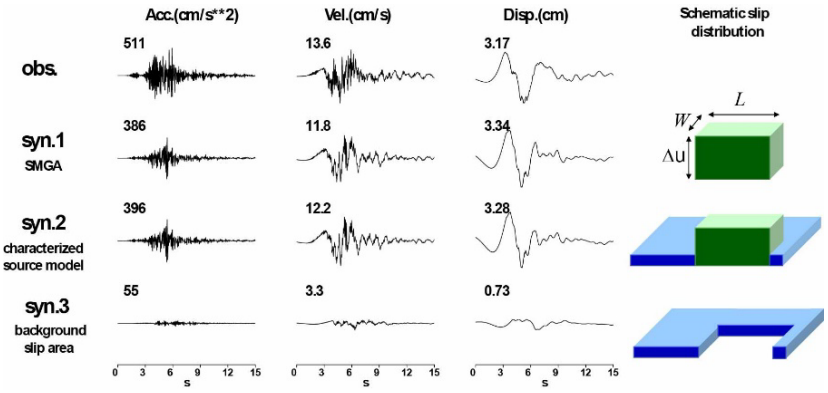

図2　広帯域地震動シミュレーションのための特性化震源モデル[5].

3.　強震動予測レシピ

先に述べた強震動予測レシピは，震源のモデル化を主体としたものであり，3つの目的があった．1つは，震源を確定的に再現できること， 2つ目は，指向性パルスのシミュレーションが容易であること，3つ目は，複雑な地下構造やサイト特性などを含む，経験的グリーン関数によって検証された特性化震源モデルを採用することであった．

そして，強震動予測のための特性化震源モデルは，巨視的断層パラメータ，微視的断層パラメータ，その他の断層パラメータから構築することとした[3]．巨視的断層パラメータは，断層面積や地震モーメントなどの地震の規模を特徴付けるパラメータであり，震源断層の全体像を示す．微視的断層パラメータは，震源断層内のすべり不均質性を定義する．具体的には，アスペリティ面積や各アスペリティの応力降下量が含まれ，強震動に大きな影響を与える．壇・他 (2001)[8]の短周期レベルは，Madariaga (1979)[9]の震源物理の理論を用い，アスペリティの大きさを制約するために使用される．その他の断層パラメータは，破壊開始点や破壊伝播速度，あるいは破壊のパターンなど，破壊の開始と終端を特徴付けるために使用される．

その後，地震調査研究推進本部の全国地震動予測地図において，震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）[1]として，強震動予測手法の構成要素となる震源特性，地下構造モデル，強震動計算，予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定にあたって一連の考え方が取りまとめられた[10]．

ここでは，地震モーメントに対する断層面積と短周期レベルのスケーリング則を積極的に用いることで，長周期から短周期に至る震源特性を経験則の観点から規定している．また，工学的基盤上の地震動計算においては，長周期側では三次元地下構造モデルに基づく数値シミュレーション等の理論的手法と，短周期側では，出力地点直下の三次元地下構造モデルを一次元構造として切り出し，サイト特性を加味した統計的グリーン関数法[11]等の半経験的手法をハイブリッド合成することで，時刻歴波形の提供を可能とした．

地震調査研究推進本部の強震動予測レシピは，全国地震動予測地図の震源断層を特定した地震の強震動予測に使用されている他，国や自治体レベルでも活用されている．

なお，レシピは，新たな知見を入れて改良されている．例えば，長大断層の知見を取り入れ，地震モーメントに対する断層面積のスケーリングは三段階[12]に更新された．近年では，スラブ内地震に関するレシピが更新されている．

4.　シナリオ地震の強震動予測への適用

レシピは，1995年兵庫県南部地震[12] (M_w 6.9)，2000年鳥取県西部地震[13] (M_w 6.6)，2004年新潟県中越地震[13] (M_w 6.6)，2005年福岡県西方沖の地震[14] (M_w 6.6)などの過去の地殻内地震の広帯域地震動を再現する

ことで，検証されてきた．このうち，2000年鳥取県鳥取地震と2004年新潟県中越地震については，SCEC広帯域地震動プラットフォーム[16)17)18)]の複合適合度の基準[16)]に対して，レシピは0.1-10 Hzの周期範囲で妥当な性能を示した．

地震調査研究推進本部における適用として，全国地震動予測地図の例を図3に示す．地震動予測式による簡便法とレシピによる詳細法の震度分布を比較すると，詳細法は，微視的断層パラメータと三次元地下構造に起因する複雑な震度分布が見られる．また，レシピは，IAEAのSafety Reports Series No. 85において「Estimation of fault parameters for the SMGA/asperity model」として紹介されている．

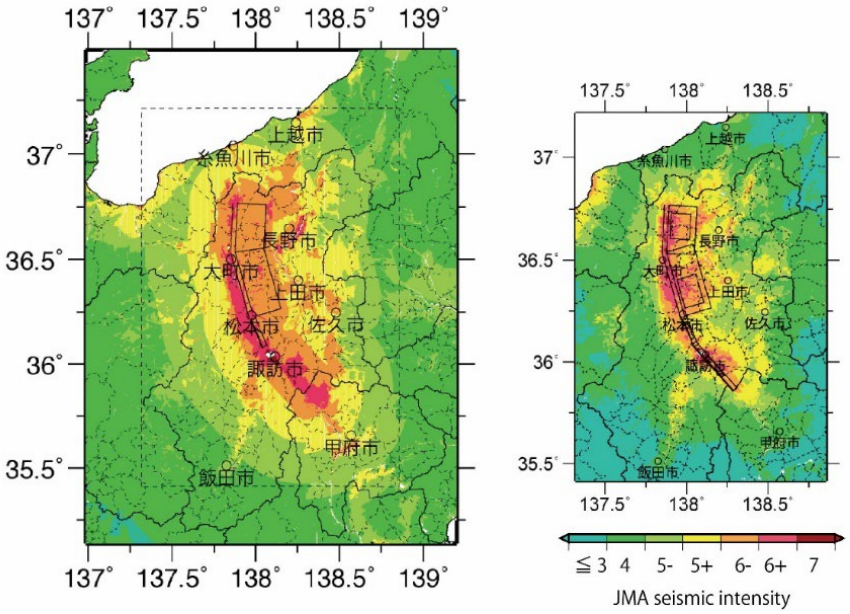

図3　全国地震動予測地図における簡便法（左）と詳細法（右）の例[19)].

5. SCEC広帯域地震動プラットフォームにおける強震動予測レシピ

米国南カリフォルニア地震センターのSCEC広帯域地震動プラットフォーム[16)17)18)]は，0-20+ Hzの周波数範囲における広帯域地震動のシミュレーションのオープンソースプラットフォームである．実装されている手法の多くは不均質性に富んだ震源モデルであり，強震動予測レシピとの相違点を図4に示す．

強震動予測レシピは，2000年鳥取県西部地震と2004年新潟県中越地震に対し，一次元および三次元地下構造モデルを用いたケースについて，SCEC広帯域地震動プラットフォームの適合性基準[17)]を用いて，検証された．

この結果を受けて，SCEC Broadband Platform v22.4.0 (https://github.com/SCECcode/bbp) には，地殻内地震のレシピに基づくIrikura Recipe Method 1[20)]とMethod 2[1)]の二種類の手法が実装された．いずれも，単一セグメントおよび複数セグメントの断層破壊モデルに適用可能となっている．

両手法とも，震源モジュールはレシピに従っているが，特性化震源モデルの破壊伝播速度を可変としている．Method 1の波動伝播モジュールは，Graves and Pitarka[21)] (GP) 法と同じものを採用している．そのため，短周期地震動計算のための震源パラメータが，応力降下量あるいは実効応力ではなく，応力パラメータに準拠している．Method 2の波動伝播モジュールは，地震調査研究推進本部のシナリオ地震の強震動予測で採用されている計算手法と同じものが採用されている．短周期地震動計算には，統計的グリーン関数法が実装されており，距離依存する地震動のエンベロープ形状も含まれる．また，短周期地震動計算震源パラメータは，レシピによる応力降下量あるいは実効応力が使われる．Method 1とMethod 2は，短周期地震動において若干の差異が見られ，その違いは短周期になるほど顕著である．

二種類の手法が実装されたことにより，震源の効果のみを確認したい場合は，GP法とMethod 1を比較し，グリーン関数の効果のみを確認したい場合は，Method 1とMethod 2を比較することが可能となり，問題点の切り分けが容易となっている．2016年熊本地震の適用例[22)]を図5と図6に示す．

	SCEC Broadband Platform	Recipe
Source Model	**Heterogeneous and complex**	**Characterized source model (definitive & simpler)**
Velocity Model	Long-period: 3-D or 1-D Short-period: 1-D or scattering	Long-period: 3-D Short-period: 1-D with site response
Simulation	Hybrid method	Hybrid method & EGF method
Validation	Past earthquakes & GMPEs (5% pseudo-spectral acceleration)	Past earthquakes & GMPEs (ground motion, pulse, seismic intensity)

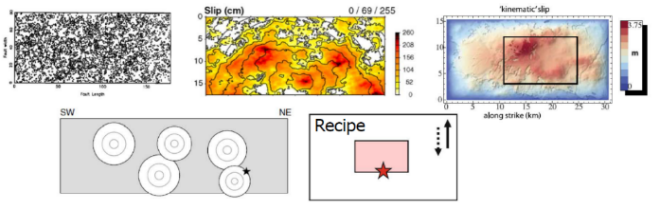

図4　震源と地震動に関するSCEC広帯域地震動プラットフォームとレシピの比較

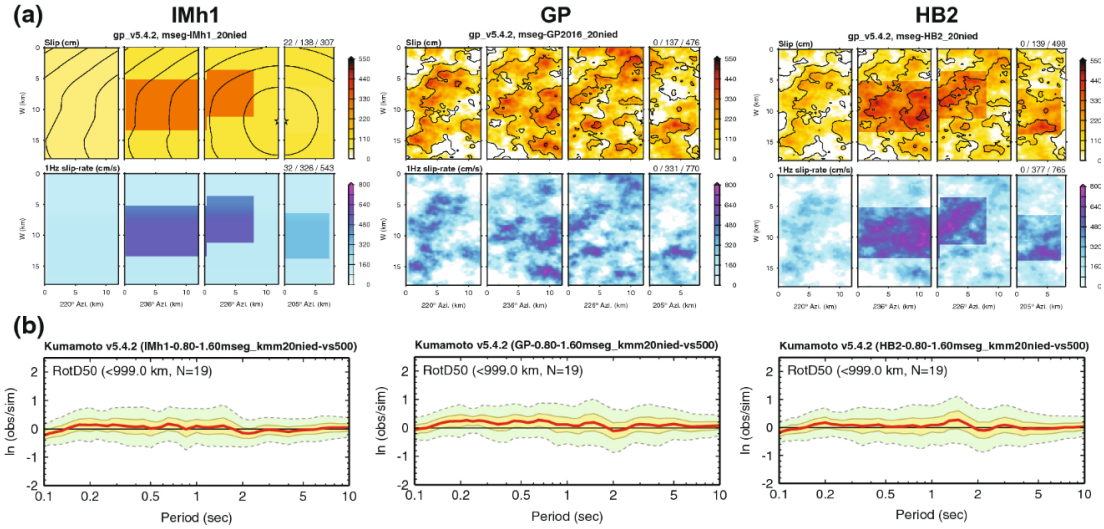

図5　2016年熊本地震の震源モデルと再現度指標[22]. 左からIrikura Recipe Method 1, GP, および両手法のハイブリッド.

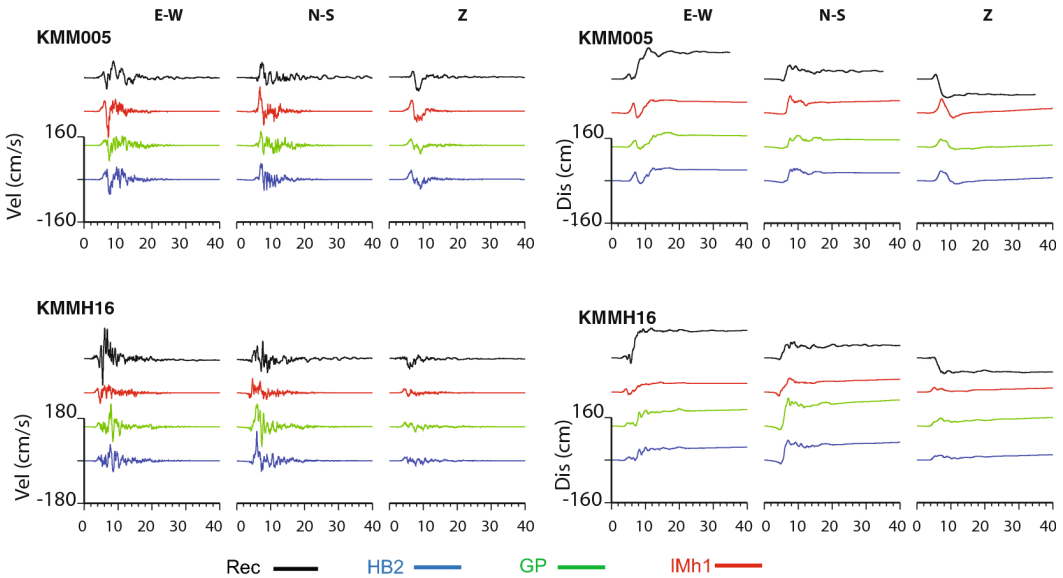

図6　2016年熊本地震の速度波形と変位波形[22]. Rec, HB2, GP, IMh1 はそれぞれ観測，ハイブリッド, GP, Irikura Recipe Method 1を示す.

6. 今後の課題

強震動予測レシピは，中規模から大規模の地殻内地震の知見に基づいて開発された．そのため，さらなる改良のために考慮すべき課題を以下に挙げる．

6.1 浅いすべりを伴う地震

浅いすべりを伴う活断層に沿った地殻内地震は，レシピの震源モデルに対して問題を提起している．2016年熊本地震では，KMMH16（KiK-net益城），熊本県自治体震度計の益城町と西原村で顕著な断層近傍地震動が観測された．そして，断層近傍地震動の永久変位と速度パルス的な長周期成分を再現するため，浅いすべりを伴う震源モデルの改良について議論がなされた．多くのモデルは，強震動生成域の浅部に，平滑化されたランプ型のすべり速度時間関数を有する，すべり量が大きい領域の追加を提案している．しかし，2016年熊本地震後に実施された断層近傍の地盤調査では，従来よりも遅いS波速度が推定されている．地下構造モデルの差異を含めた上で震源モデルの検討が必要である．

6.2 海溝型の超巨大地震

海溝型地震の震源モデル化の考え方は，地殻内地震とおおむね同じであったが，2010年チリ・マウレ地震や2011年東北地方太平洋沖地震のようなM9クラスの超巨大地震では，図7に示すような周期ごとに異なる震源モデルの構築が必要とされている．2011年東北地方太平洋沖地震では，アスペリティ（＝大きなすべり領域）と強震動生成域を別々にモデル化し，その情報を震源の不均質性と階層性に組み込むという新しい方法で，レシピの利用が促進されている．海外では，長周期成分に不均質なすべりを与え，短周期成分にパッチ型に特性化された強震動生成域を採用している例もある．

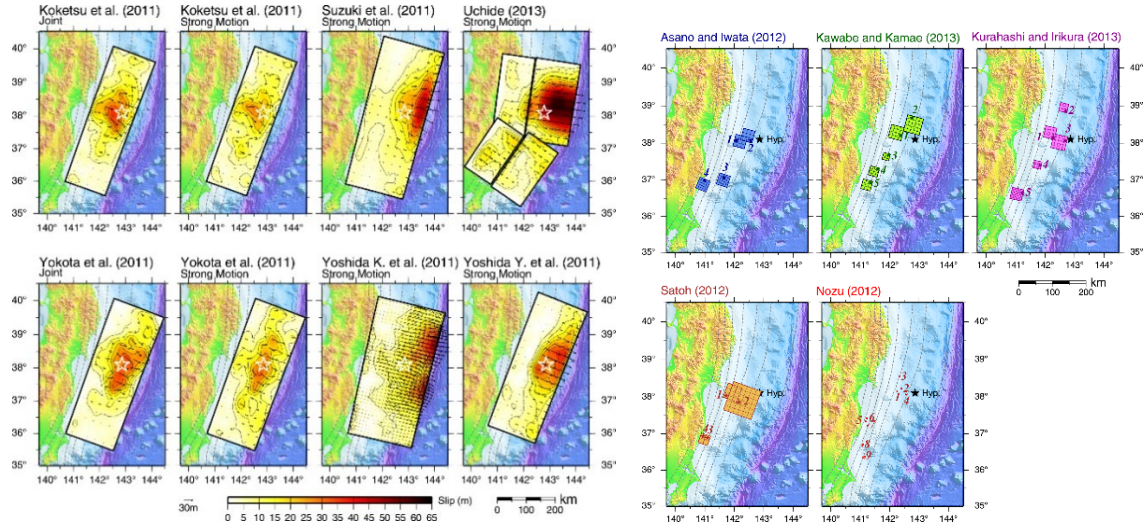

図7　2011年東北地方太平洋沖地震の長周期成分の断層すべり分布（左）と広帯域地震動再現の震源モデル（右）[23].

6.3 確率論的地震ハザードとの統合

シナリオ地震を想定した地震動シミュレーションは，頻度の低い巨大地震の影響を示すことを得意としており，将来的には，確率論的地震ハザード解析と統合することが理想的である．2011年東北地方太平洋沖地震を受けて，Fujiwara et al. (2013)[24]は確率論的地震ハザード解析における再来期間を議論している．地震調査研究推進本部は，2005年以降に確率論的地震ハザード解析を，2009年以降にシナリオ地震ハザード解析を含む全国地震動予測地図を公表している．次に検討すべき課題は，両ハザードをどのように統合するかであろう．

SCEC CyberShake Projectや国内のいくつかの研究では統合された地震ハザードが示されている．また，最近の日本におけるSSHACの活動[25][26][27]では，重要インフラの確率論的リスク評価のために，確率論的地震ハザード解析とシナリオ地震動の統合が試みられている．

6.4 ばらつきと不確実性

強震動予測のための震源モデルは，経験的・理論的関係と震源パラメータの経験的スケーリングから構成される．平均値を対象とする場合が多いが，ばらつきと不確実性の議論は不可欠である．

ばらつきに関しては，例えば，特性化震源モデルのシナリオ検討数は，常に議論となる．地震調査研究推進本部では，1つの断層にアスペリティが2つある場合，計4ケースを検討しているが，SCEC広帯域地震動プラットフォームでは50個の破壊パターンが提案されている．レシピの多数回試行と予測地震動の変動性は，Maeda et al. (2016)[28]やIwaki et al. (2017)[29]によって，破壊開始点，アスペリティ位置，および破壊伝播速度などを変更したケースが検討されている．

震源パラメータの経験的スケーリングのばらつきの議論も続いている．地震モーメントに対する断層面積のスケーリングの議論[30][31]に加え，地震モーメントに対する短周期レベルのスケーリングの議論[32][33][34]も行われている．

ばらつきが，現実的な範囲に収まることを保証するために，標準偏差が良く利用されている．しかし，Scherbaum et al. (2009)[35]が示したように，データセットが正規分布，対数正規分布，または他のタイプの分布として十分な統計値を含んでいるか調査する必要がある．また，Cotton et al. (2013)[36]は，地震動のばらつきに対して，震源パラメータの過大なばらつきを指摘している．今後，非エルゴード解析などを活用したばらつきの分解の研究[37]が重要であろう．

不確実性に関しては，解決策としてロジックツリーの構築が推奨されている．加えて，Kanamori (2014)[38]などが指摘している外れ値の扱いにも留意が必要である．外れ値は，応力降下量や破壊継続時間，破壊伝播速度など震源起因の場合が多く，物理的に上下限を拘束することは困難とされている．

7. おわりに

シナリオ地震に対する特性化震源モデルを用いた広帯域地震動予測手法として，強震動予測レシピが開発された．この妥当性と適用性は，主に国内の内陸地殻内地震の観測地震動とシミュレーションを比較することで検証されてきた．国際的には，この比較を周期ごとに定量的に行う流れがある．

オープンソースであるSCEC 広帯域地震動プラットフォームv22.4.0では，複数の地殻内地震の強震動予測手法が実装されており，Irikura Recipe Method 1と2が含まれている．両手法の震源モジュールは共通であるが，短周期地震動生成モジュールが異なり，Method 2は地震調査研究推進本部におけるシナリオ地震の強震動予測手法と同一である．今後，複数の手法が，国内外の被害地震において検証されることが期待される．

謝　辞

有意義な議論をいただいた関係者に感謝致します. SCEC 広帯域地震動プラットフォームは，Christine Goulet氏，Fabio Silva氏，Phil Maechling氏により構築されました．

参考文献

1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」），2020，https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/recipe.pdf (参照2023-08-29).
2) 入倉孝次郎，三宅弘恵：シナリオ地震の強震動予測，地学雑誌, Vol. 110, pp. 849–875, 2001.
3) Irikura, K., Miyake, H.: Recipe for predicting strong ground motion from crustal earthquake scenarios, Pure Appl. Geophys., Vol. 168, pp. 85–104, 2011.
4) Somerville, P., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N., Iwasaki, Y., Kagawa, T., Smith, N., Kowada, A.: Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong motion, Seismol. Res. Lett., Vol. 70, pp. 59–80, 1999.
5) Miyake, H., Iwata, T., Irikura, K.: Source characterization for broadband ground-motion simulation: Kinematic heterogeneous source model and strong motion generation area, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 93, pp. 2531–2545, 2003.
6) Das, S., Kostrov, B.V.: Fracture of a single asperity on a finite fault: a model for weak earthquakes?, in Earthquake Source Mechanics, Das S, Boatwright J, Scholz CH (Editors), American Geophysical Monograph,

Vol. 37, pp. 91–96, 1986.
7) Boatwright, J.: The seismic radiation from composite models of faulting, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 78, pp. 489–508, 1988.
8) 壇一男, 渡辺基史, 佐藤俊明, 石井透 : 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 66, No. 545, pp. 51–62, 2001.
9) Madariaga, R.: On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity, J. Geophys. Res., Vol. 84, pp. 2243–2250, 1979.
10) Fujiwara, H., Kawai, S., Aoi, S., Morikawa, N., Senna, S., Kudo, N., Ooi, M., Hao, K.X., Wakamatsu, K., Ishikawa, Y., Okumura, T., Ishii, T., Matsushima, S., Hayakawa, Y., Toyama, N., Narita, A.: Technical reports on national seismic hazard maps for Japan, Technical Note of the National Res. Inst. for Earth Science and Disaster Prevention, No. 336, 2009.
11) Dan, K., Sato, T.: A semi-empirical method for simulating strong ground motions based on variable-slip rupture models for large earthquakes, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 89, pp. 36–53, 1999.
12) Murotani, S., Matsushima, S., Azuma, T., Irikura, K., Kitagawa, S.: Scaling relations of source parameters of earthquakes occurring on inland crustal mega-fault systems, Pure Appl. Geophys., Vol. 172, pp. 1371-1381, 2015.
13) Kamae, K., Irikura, K., Pitarka, A.: A technique for simulating strong ground motion using hybrid Green's function, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 88, pp. 357–367, 1998.
14) Iwaki, A., Maeda, T., Morikawa, N., Miyake, H., Fujiwara, H.: Validation of the recipe for broadband ground motion simulation of Japanese crustal earthquakes, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 106, pp. 2214–2232, 2016.
15) Morikawa, N., Senna, S., Hayakawa, Y., Fujiwara, H.: Shaking maps for scenario earthquakes by applying the upgraded version of the strong ground motion prediction method "Recipe", Pure Appl. Geophys., Vol. 168, pp. 645–657, 2011.
16) Dreger, D.S., Beroza, G.C., Day, S.M., Goulet, C.A., Jordan, T.H., Spudich, P.A., Stewart, J.P.: Validation of the SCEC broadband platform v14.3 simulation methods using pseudospectral acceleration data, Seismol. Res. Lett., Vol. 86, pp. 39–47, 2015.
17) Goulet, C.A., Abrahamson, N.A., Somerville, P.G., Wooddell, K.E.: The SCEC Broadband Platform validation exercise: Methodology for code validation in the context of seismic-hazard analyses, Seismol. Res. Lett., Vol. 86, pp. 17–26, 2015.
18) Maechling, P.J., Silva, F., Callaghan, S., Jordan, T.H.: SCEC Broadband Platform: System architecture and software implementation, Seismol. Res. Lett., Vol. 86, pp. 27–38, 2015.
19) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：全国地震動予測地図，2009, https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2009/ (参照2023-08-29).
20) Pitarka, A., Graves, R., Irikura, K., Miyake, H., Rodgers, A.: Performance of Irikura recipe rupture model generator in earthquake ground motion simulations with Graves and Pitarka hybrid approach, Pure Appl. Geophys., Vol. 174, pp. 3537–3555, 2017.
21) Graves, R.W., Pitarka, A.: Broadband ground-motion simulation using a hybrid approach, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 100, pp. 2095–2123, 2010.
22) Pitarka, A., Graves, R., Irikura, K., Miyakoshi, K., Rodgers, A.: Kinematic rupture modeling of ground motion from the M7 Kumamoto, Japan earthquake, Pure Appl. Geophys., Vol. 177, pp. 2199–2221, 2020.
23) 三宅弘恵，浅野公之，纐纈一起，岩田知孝：2011年東北地方太平洋沖地震の強震記録を用いた震源モデルの概要，日本地震工学会論文集, Vol. 16, No. 4, pp. 12–21, 2016.
24) Fujiwara, H., Morikawa, N., Okumura T.: Seismic hazard assessment for Japan: Reconsiderations after the 2011 Tohoku earthquake, Journal of Disaster Research, Vol. 8, pp. 848–860, 2013.
25) Sakai, T., Coppersmith, K., Kameda, H., Kumamoto, T., Fujiwara, H., Nakagawa, S., Ohno, Y., Matsuzaki S.: Progress on the SSHAC Level 3 PSHA Project for the Ikata NPP, Japan, Transactions of SMiRT-25, 2019.
26) 隈元崇, 奥村晃史, 佃栄吉, 堤英明, 堤浩之, 遠田晋次, 徳山英一, 大西耕造, 西坂直樹, 大野裕記,

酒井俊朗, 亀田弘行：SSHACレベル3ガイドラインに基づく伊方サイトでの震源特性モデルの構築, 日本地震工学会論文集, Vol. 22, No. 2, pp. 37–60, 2022.
27) 藤原広行, 蛯沢勝三, 香川敬生, 司宏俊, 古村孝志, 三宅弘恵, 森川信之, 塩田哲生, 小川裕, 松﨑伸一, 宮腰淳一, 酒井俊朗, 亀田弘行：SSHACレベル3ガイドラインに基づく伊方サイトでの地震動特性モデルの構築, 日本地震工学会論文集, Vol. 22, No. 2, pp. 61–87, 2022.
28) Maeda, T., Iwaki, A., Morikawa, N., Aoi, S., Fujiwara, H.: Seismic-hazard analysis of long-period ground motion of megathrust earthquakes in the Nankai Trough based on 3D finite-difference simulation, Seismol. Res. Lett., Vol. 87, pp. 1265–1273, 2016.
29) Iwaki, A., Morikawa, N., Maeda, T., Fujiwara, H.: Spatial distribution of ground-motion variability in broadband ground-motion simulations, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 107, pp. 2963–2979, 2017.
30) 宮腰研, 入倉孝次郎, 釜江克宏：強震動記録を用いた震源インバージョンに基づく国内の内陸地殻内地震の震源パラメータのスケーリング則の再検討, 日本地震工学会論文集, Vol. 15, No. 7, pp. 141–156, 2015.
31) 長嶋史明, 川瀬博, 伊藤恵理：海外内陸地殻内地震のインバージョン結果データベースを用いたスケーリング則の検討, 日本地震工学会論文集, Vol. 21, No. 5, pp. 140–160, 2021.
32) 藤堂正喜, 新井健介, 宮腰淳一, 佐藤俊明, 藤原広行, 森川信之：内陸地殻内地震の3ステージモデルに適合した短周期レベルのスケーリング則の提案, 日本地震工学会論文集, Vol. 22, No. 5, pp. 43–59, 2022.
33) 藤堂正喜, 新井健介, 宮腰淳一, 佐藤俊明, 藤原広行, 森川信之：「内陸地殻内地震の3ステージモデルに適合した短周期レベルのスケーリング則の提案」の補遺, 日本地震工学会論文集, Vol. 23, No. 2, pp. 71–76, 2023.
34) 染井一寛, 吉田邦一, 宮腰研, 釜江克宏, 入倉孝次郎：強震動生成域モデルから計算される内陸地殻内地震の短周期レベルとスケーリング則に対するばらつき, 日本地震学会2023年度秋季大会予稿, 印刷中.
35) Scherbaum, F., Delavaud, E., Riggelsen, C.: Model selection in seismic hazard analysis: An information-theoretic perspective, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 99, pp. 3234–3247, 2009.
36) Cotton, F., Archuleta, R., Causse, M.: What is sigma of the stress drop?, Seismol. Res. Lett., Vol. 84, pp. 42–48, 2013.
37) Baltay, A.S., Hanks, T.C., Abrahamson, N.A.: Uncertainty, variability, and earthquake physics in ground-motion prediction equations, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 107, pp. 1754–1772, 2017.
38) Kanamori, H.: The diversity of large earthquakes and its implications for hazard mitigation, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol. 42, pp. 7–26, 2014.

Recipe for Strong Ground Motion Prediction and Overseas Applications

MIYAKE Hiroe[1)], IRIKURA Kojiro[2)], FUJIWARA Hiroyuki[3)],
MORIKAWA Nobuyuki[3)], MAEDA Takahiro[3)] and IWAKI Asako[3)]

1) Earthquake Research Institute, The University of Tokyo
2) Aichi Institute of Technology
3) National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

ABSTRACT

Broadband source modeling, used for predicting ground motion, plays a crucial role in seismic hazard assessment. A recipe for predicting strong ground motion from crustal earthquake scenarios is proposed that utilizes a characterized source model consisting of identifiable asperities and surrounding background areas. The hybrid technique simulates broadband time histories on the engineering bedrock as long-period ground motions are determined using a deterministic approach and short-period ground motions are determined using a semi-empirical approach. It is possible to assess simulated ground motion variability by using random source realization. This recipe is used for national seismic hazard maps and design basis ground motions. We here summarize the recipe and introduce its overseas applications in the SCEC broadband platform and ground motion simulation based on fault rupture modeling at IAEA.

Keywords: Strong ground motion prediction, Characterized source model, broadband ground motion simulation