

時空間領域境界積分方程式法の高速度解法の開発と 巨大地震シミュレーションへの応用



概要

最近の人工衛星による面的観測や広域的な地上観測網の整備によって、巨大地震の発生過程が、詳細に捉えられるようになってきた。このような発生過程を物理的に再現するには、地震の震源となる地下の断層がせん断破壊する動的過程を、高解像度でモデル化する必要がある。特に、大きな力学的効果を及ぼす断層の幾何形状の詳細なモデル化と高精度な解析が重要となる。そのため、時空間境界積分方程式法 (ST-BIEM) を H-matrices と高速領域分割法 (FDPM) を組み合わせて効率化し、FDP=H-matrices と呼ぶ、ほぼ $O(N)$ を達成できるアルゴリズムの開発を行っている。同時に、自然の地震現象の初期値問題としての再現数値実験を行い、物理モデルの検証を行っている。

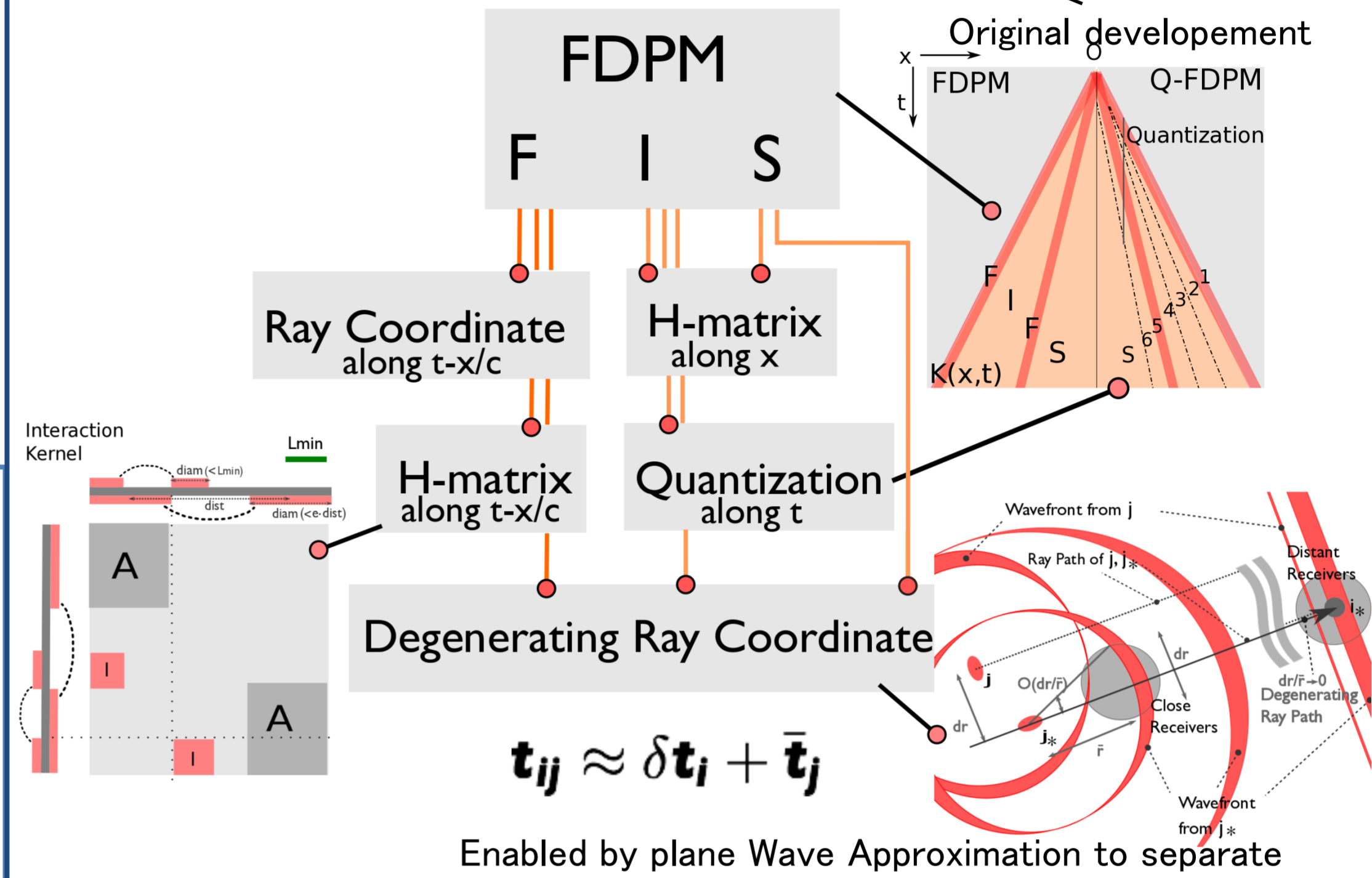
既存の効率化手法と新手法の意義

Cost	$O(N^2M)$	almost $O(N^2)$ $O(NM)$	almost $O(N)$
Spatial BIEM	$T_i = \sum_j K_j^i D_j$	Original	Fast Multipole [Rokhlin, 1985] H-matrices [Hackbusch, 1999]
Spatio-temporal BIEM	$T_{i,n} = \sum_j \sum_m K_{j,m}^{i,n} D_{j,m}$	Fast Multipole [Maruyama et al., 2015] H-matrices [Yoshikawa & Yamamoto, 2015] FDPM [Ando et al., 2007]	FDP=H-matrices Dramatic cost reduction possible

Note: Dense Mat. and Original are indicated for the first two rows.

FDP=H-matricesの概要

Convention of four Inner Algorithms:
FDPM, H-matrices, Quantization, Degenerating Ray Coordinate



計算コスト

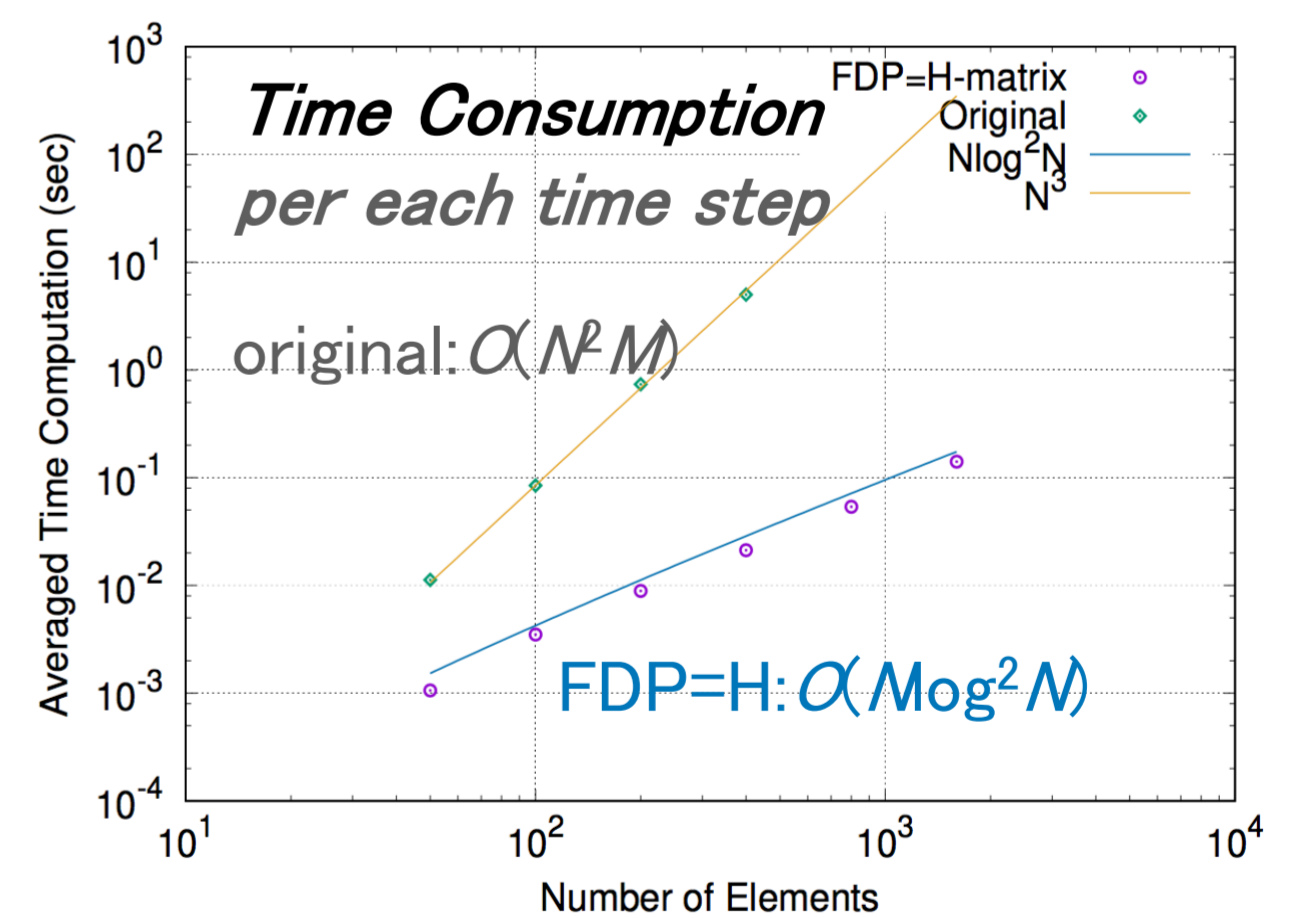
Attained almost $O(N)$ by FDP=H-matrices from original $O(N^2M)$!!

Model dimension: $M=5N$

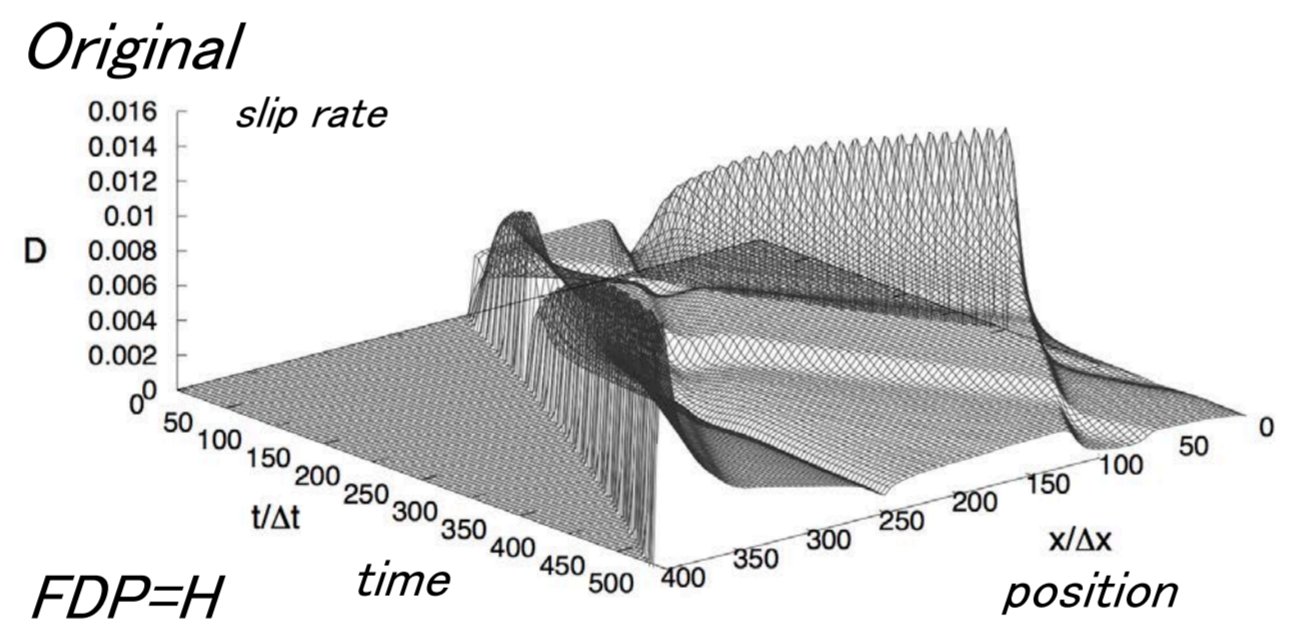
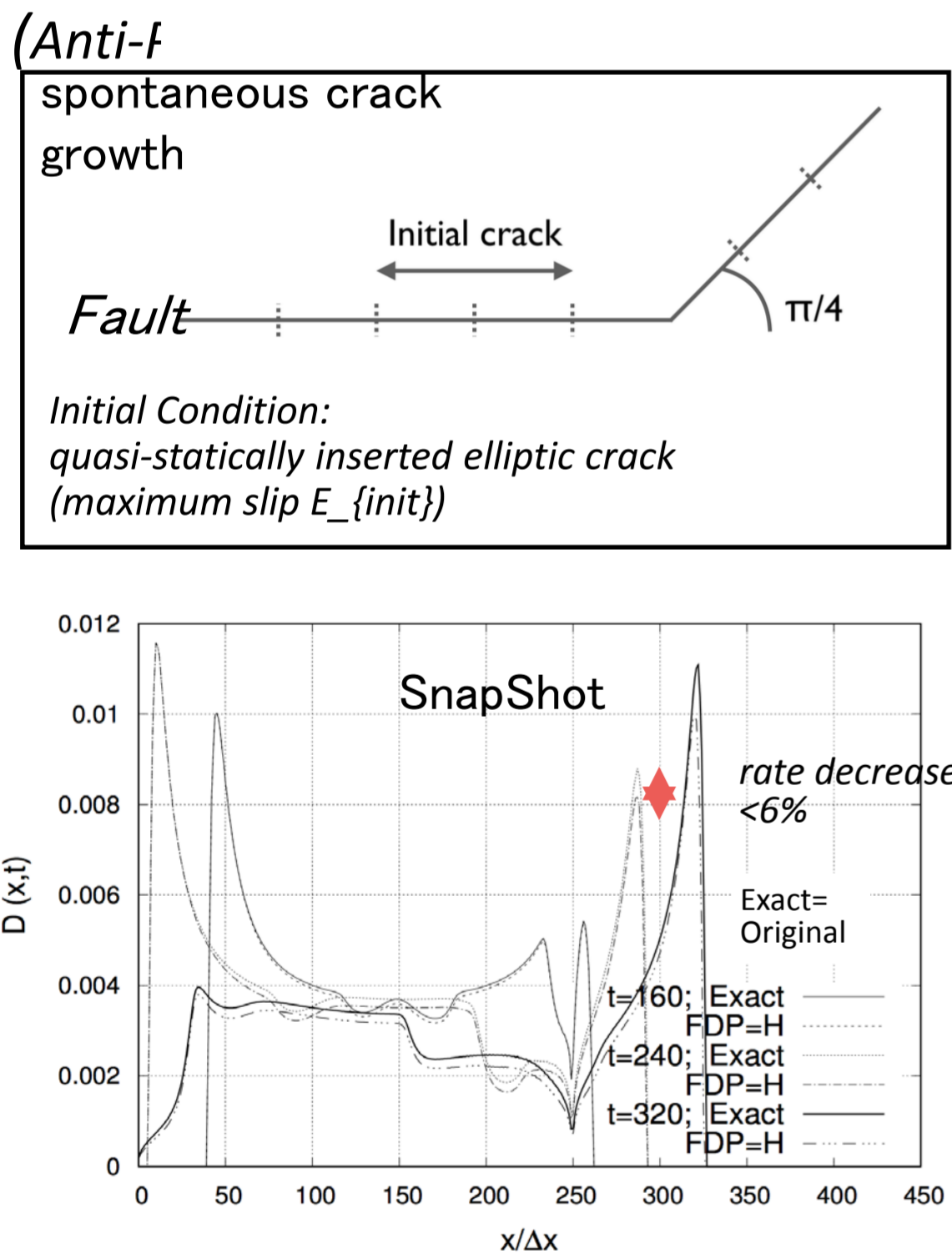
Memory requirement

original: $O(N^2M)$

FDP=H: $O(M \log^2 N)$

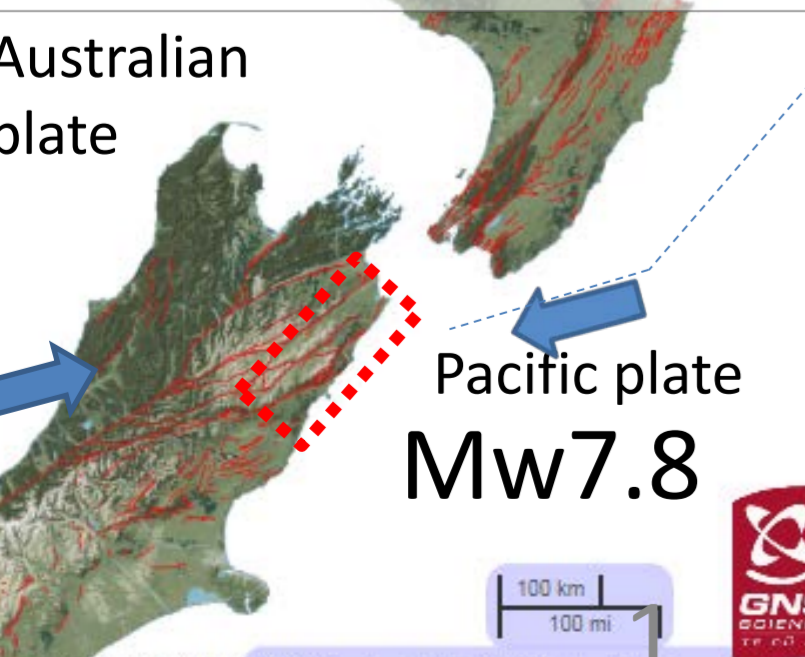


亀裂問題での精度検証



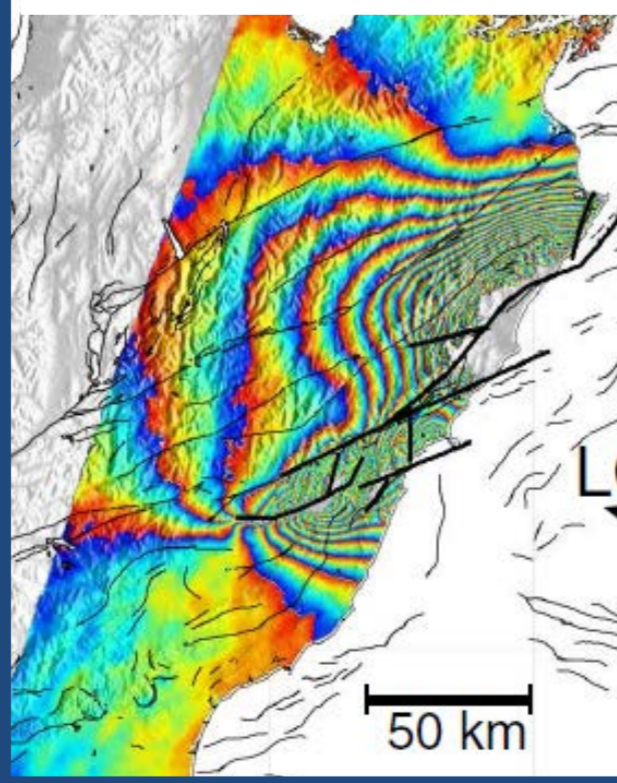
- Accurate travel time approximation is important → Changing admissibility condition η as the function of distances btw. source and receiver
- Relatively finer clustering at distance merely resulted in $\log^2 N$ factor compared to $\log N$ for constant η

Dynamic rupture simulation of the 2016 Mw 7.8 Kaikoura (New Zealand) earthquake



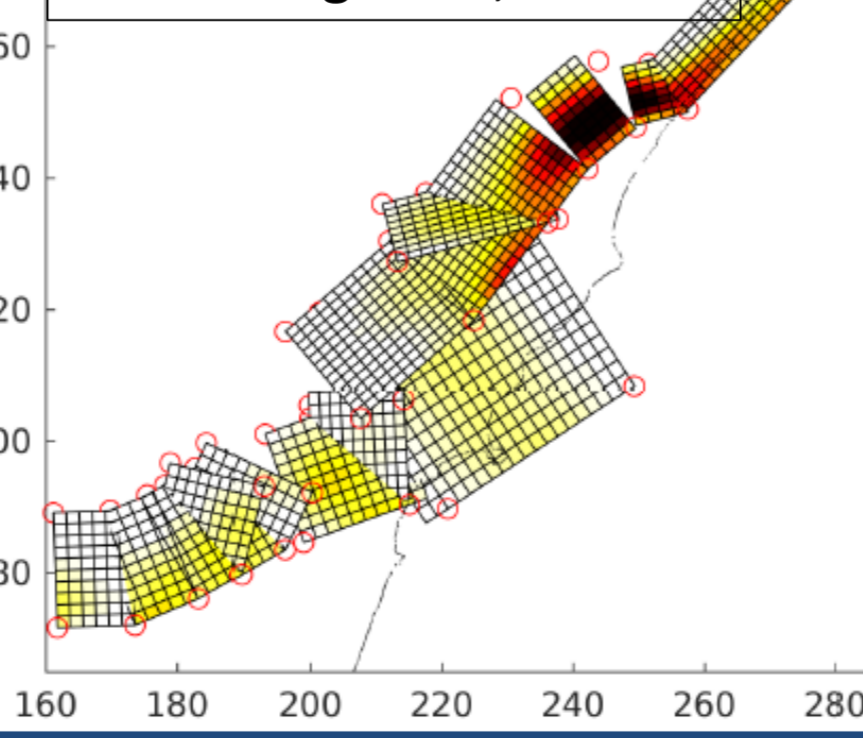
Numerical Method: FDPM (Fully dynamic simulation)

衛星観測の結果 地震による地表変位 (Humling et al., 2017)

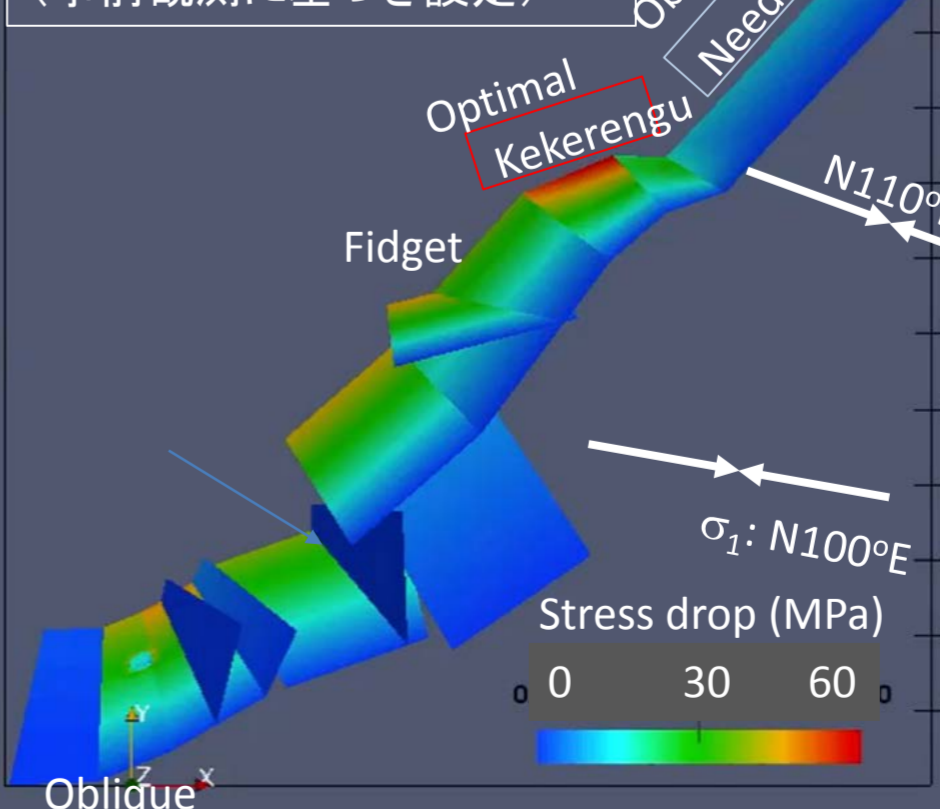


Oakforest-PACS: 256 Nodes, 1 hours, 50,000 elements

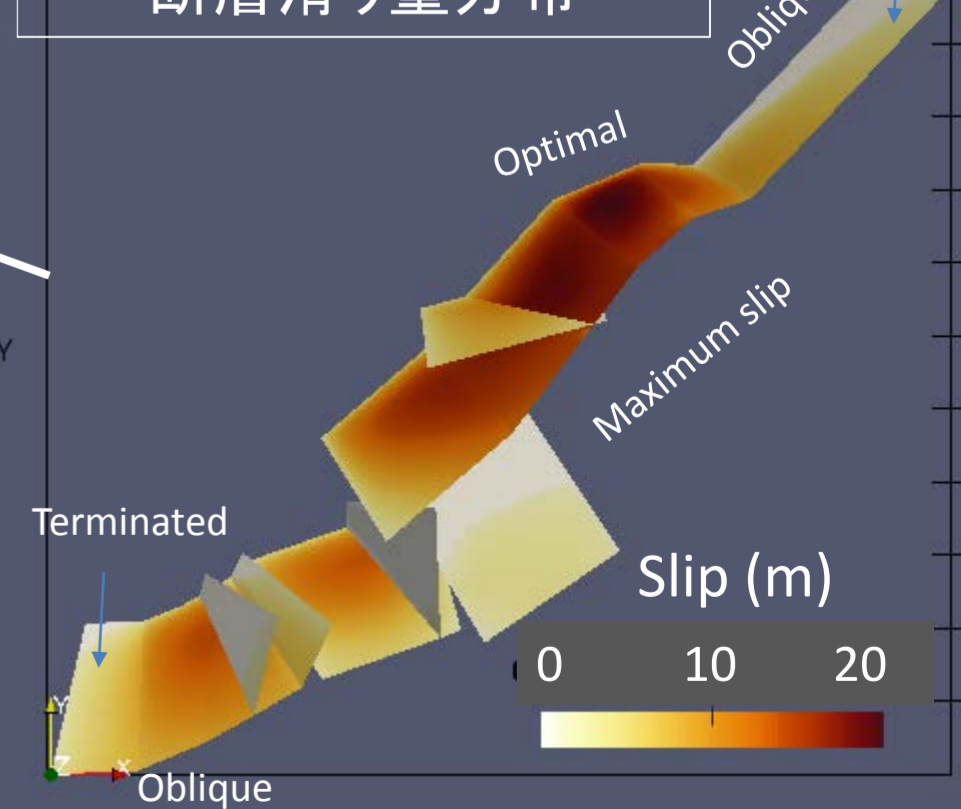
観測による推定結果 断層滑り量分布 (Humling et al., 2017)



初期応力条件 (事前観測に基づき設定)



シミュレーション結果 断層滑り量分布



Enabled to reproduce the overall characteristics of slip distribution and terminated locations with forward modeling of initial condition problem.