

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



Summary

我々は、*H-matrix*法に基づいて時空間領域境界積分方程式法(*ST-BIEM*)の $O(N)$ 法を開発した。
*HACApK*を用いることでこの大規模並列計算を行い、現実的な巨大地震シミュレーションを行うことを狙う。
 ポスターでは、まずその $O(N)$ 法(*FDP=H-matrix*法)のアルゴリズムと実装を示し、
 高速領域分割法 (*FDPM*) を用いた現実的なシミュレーションの進捗を報告する。

背景及び目的

断層形状は複雑/破壊問題は応力が特異的 → *BIEM*がよい
 e.g. **S**trong ground motion, **M**aterial failure, & **E**arthquake Science

波を記述しようとする $O(N^2T)$ のコスト(自由度に制限)

空間 *BIEM*
 E: amount of slip

$$\sigma_{i,n}^{el} = \sum_j K_{i,j} E_{j,n} \quad O(N^2)$$

$i (=1, \dots, N)$: # of fault element
 $n (=1, \dots, T)$: # of time step

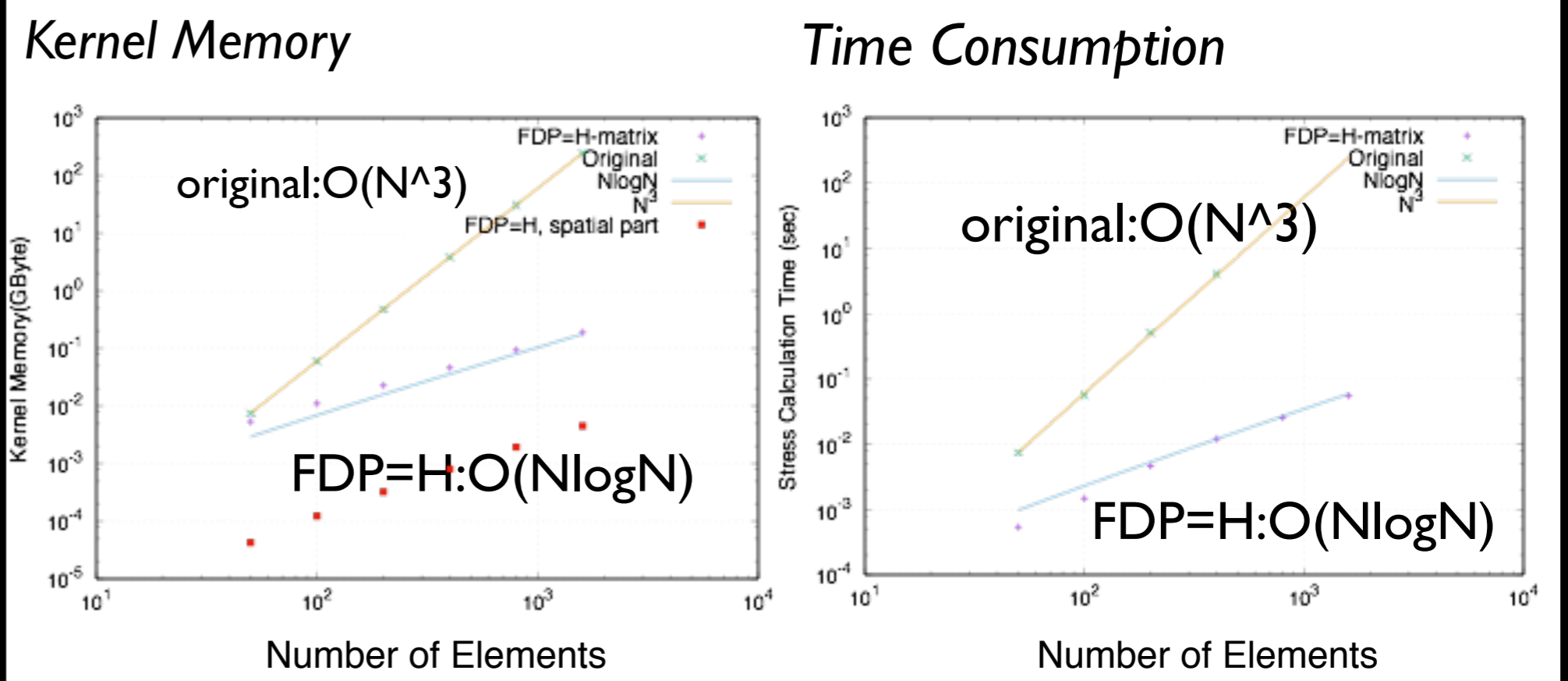
時空間 *BIEM*
 D: slip velocity

$$\sigma_{i,n}^{el} = \sum_{j,m} K_{i,n,j,m} D_{j,m} \quad O(N^2T)$$

$= K_{i,j,n-m}$

目標: $O(N)$ for *ST-BIEM* を作って、
 巨大地震シミュレーションを行う。

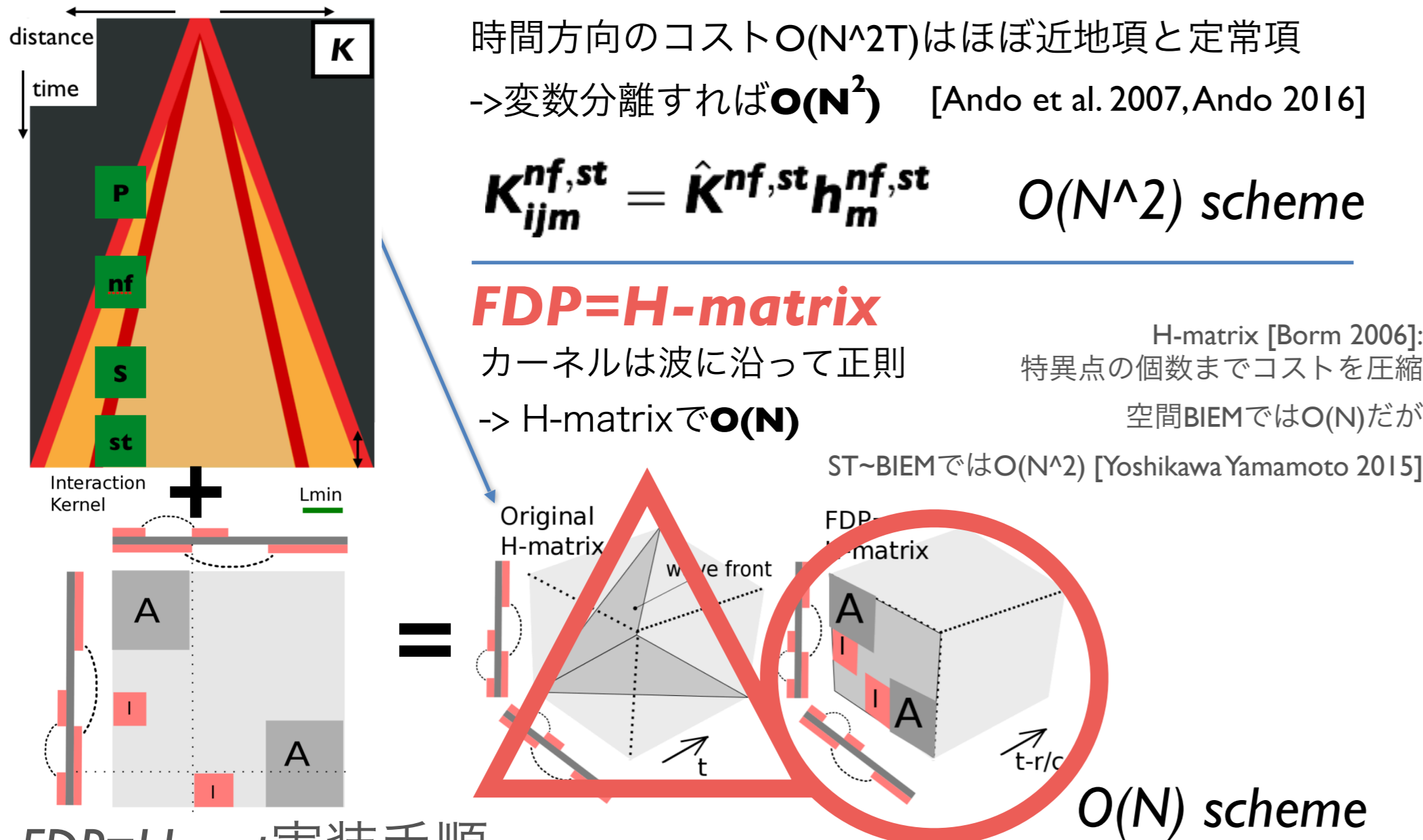
結果1. *FDP=H-mat*を用いて*ST-BIEM*で初めて $O(N)$ を達成! case: $T=5N$, 2D-antiplane spontaneous dynamic rupture



FDP=H-mat: $O(N)$ & 10^3 times compressed @ $N \sim 10^3$
FDP=H-mat: $O(N)$: 10^4 times faster even @ $N \sim 10^3$

手法: *FDPM*, *FDP=H-matrix*

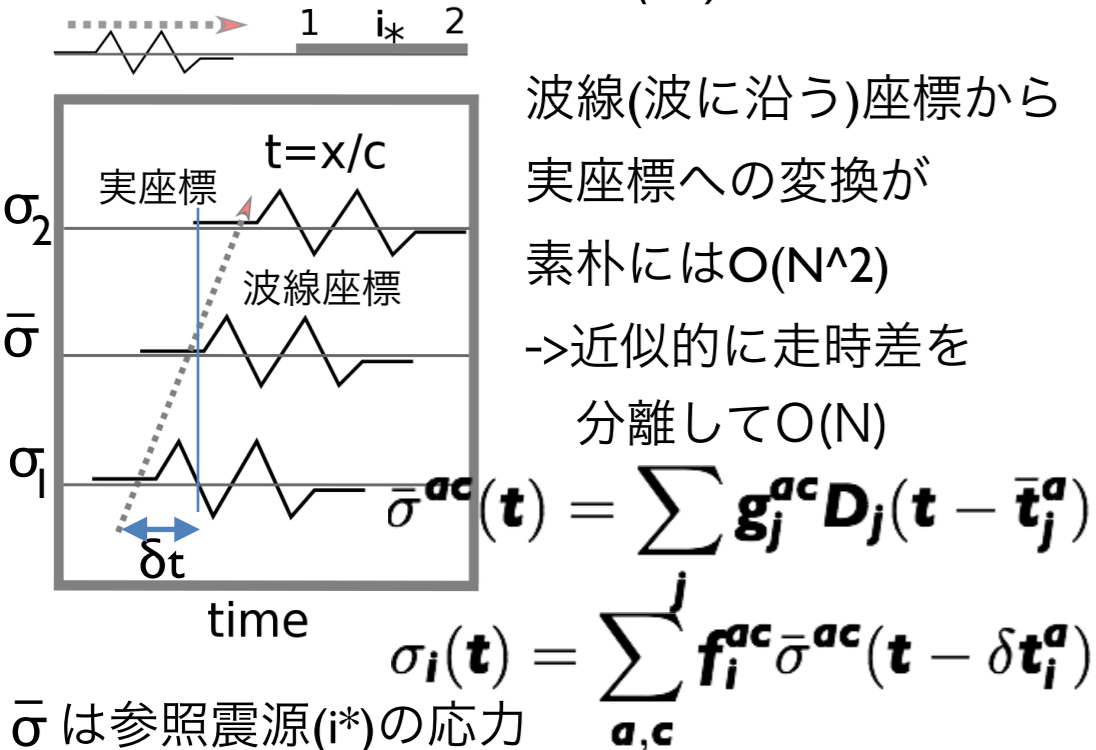
FDPM: Fast Domain Partitioning Method



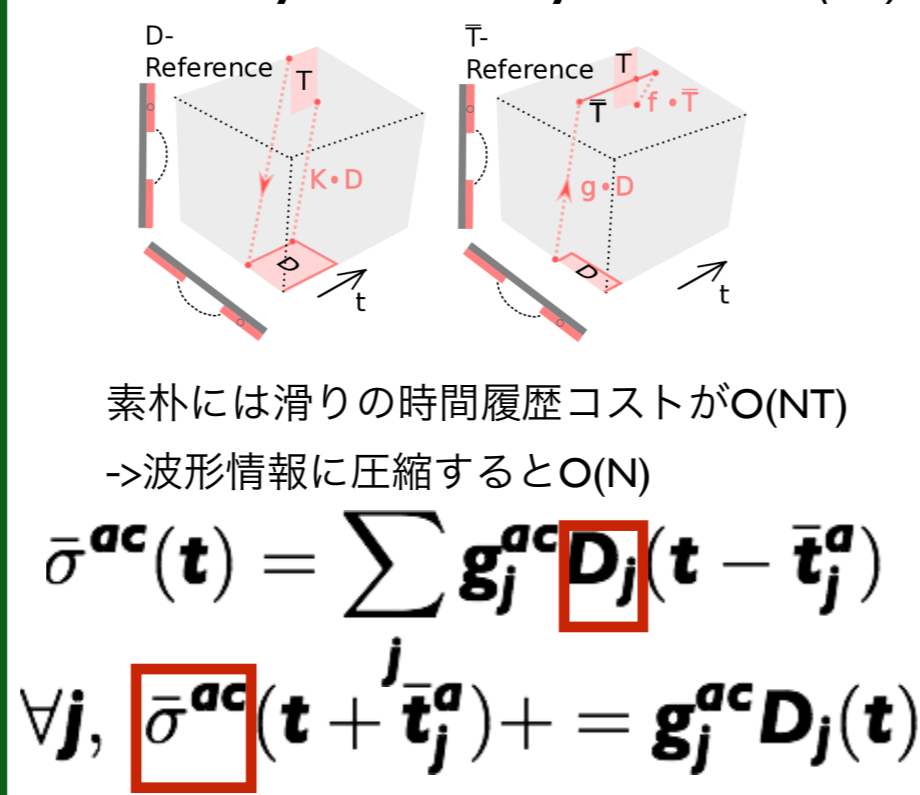
1. Kernel Memory $O(N)$ *FDPM*の各ドメインのカーネルに対し

$$K_{ijm}^{p,s} \sim \sum_c f_i^c g_j^c h_m^c \quad K_{ijm}^{nf, st} \sim \sum_c f_i^c g_j^c h_m^c \quad \text{空間方向にH-matrixを適用}$$

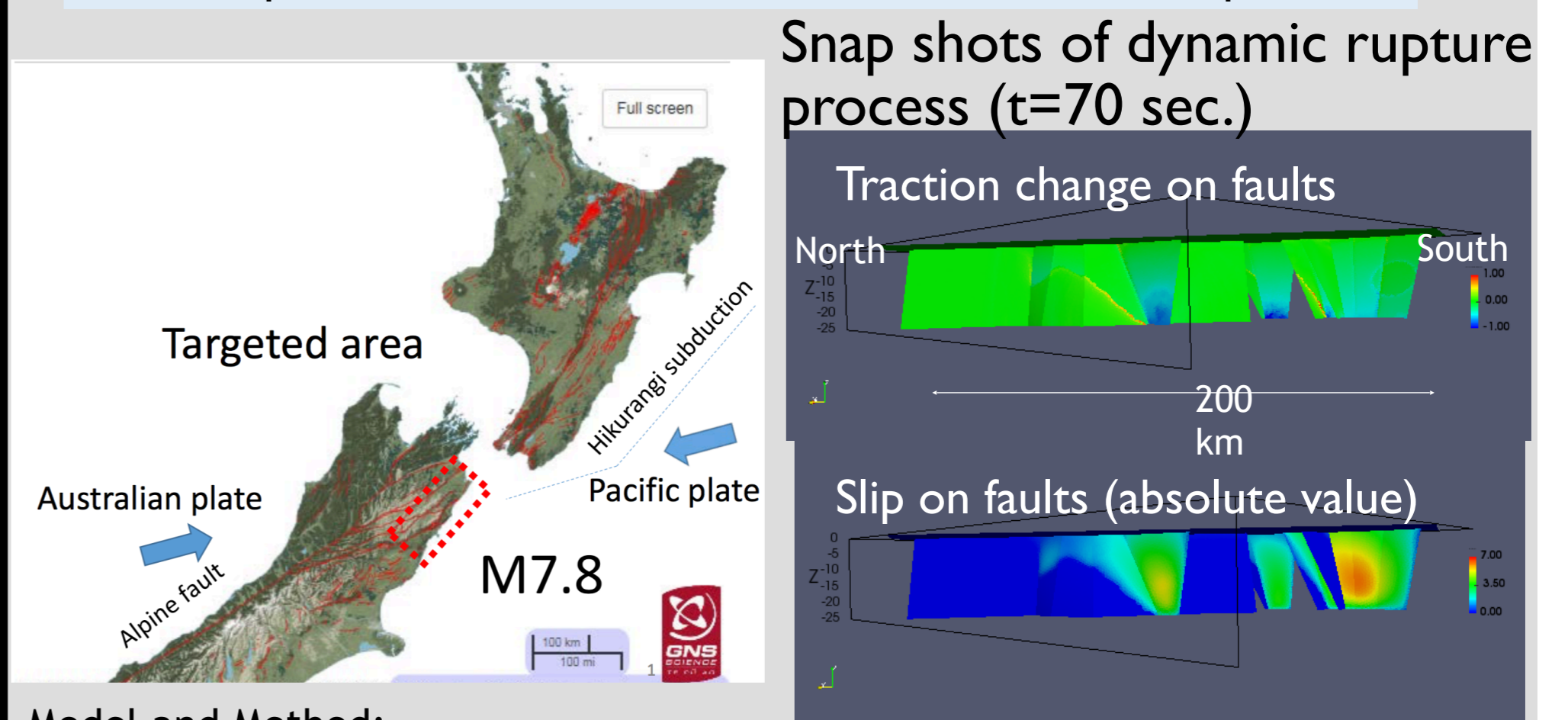
2. Convolution cost $O(N)$



3. History Memory Cost $O(N)$



結果2. Dynamic rupture simulation with 3D complex fault geometries Example of the 2016, Kaikoura, New Zealand, earthquake



- Model and Method:
- Simulated the 2016 Kaikoura earthquake with the physically-based dynamic rupture simulation. Used *FDP-BIEM*.
 - Considered complex fault geometry with homogeneous regional stress field
- Results:
- Reproduced the rupture jumping to the northern segments without fine parameter tuning
 - The initial traction distributions seem to predominantly control the slip distribution and the rupture process including nucleation, propagation / jumping and termination

- Other examples of our applications
- 2014 M 6.3 Northern Nagano earthquake
 - 2016 M 7.0 Kumamoto earthquake

展望 *FDP=H-mat*を*HACApK*を用いて大規模並列演算 →断層モデルの高度化/詳細なデータとの照合

- Reference
- Fast Domain Partitioning Method for dynamic boundary integral equations applicable to non-planar faults dipping in 3-D elastic half-space
 R Ando - Geophysical Journal International, 2016
 - Sato and Ando, JpGU meeting, 2017; Sato and Ando, in prep.