

南海トラフ巨大地震による津波の浸水深分布の 空間相関特性の評価とシミュレーション

Evaluating Spatial Correlation and Simulation of Tsunami Inundation Depth
Distribution Caused by the Nankai Megathrust Earthquakes

高橋 幸宏¹, 能島 暢呂²

Yukihiro TAKAHASHI¹ and Nobuoto NOJIMA²

¹ 岐阜大学大学院 自然科学技術研究科

Graduate School of Natural Science and Technology, Gifu University

² 岐阜大学 工学部

Dept. of Civil Engineering, Gifu University

Buildings and infrastructures in coastal areas are exposed to the risk of damage from tsunami. In evaluating tsunami risk of spatial distributed networks or portfolio risk of an inventory of the buildings, spatial correlation in tsunami inundation depth distribution and analyzing many maps of inundation depth are an important consideration. This study attempts to analyze spatial variation and correlation in inundation depth distributions applying the mode decomposition technique based on singular value decomposition. In addition, inundation depth distributions are simulated by the mode synthesis. The present results suggest that the spatial correlation is affected by the slip zone of tsunami fault model and the simulation method is able to generate many maps of inundation depth which are preserving spatial correlation in original dataset.

Keywords: Nankai megathrust earthquakes, tsunami, spatial variation and correlation, simulation, singular value decomposition

1. はじめに

内閣府に設置された「南海トラフの巨大地震モデル検討会¹⁾」では、甚大な被害が危惧される南海トラフ巨大地震の津波による津波高や浸水深分布²⁾を想定している。この想定は最大クラスの被害をもたらす津波であり、想定範囲は九州から東北まで広範囲に及ぶ。沿岸部には火力発電所、原子力発電所、液化天然ガス基地など、エネルギー関係の基幹施設の多くが立地しており、それらの津波被害は電力・都市ガスの長期供給停止につながる。津波対策を合理的に進めるためには、津波被害想定および津波リスク評価を適切に行うことが極めて重要である。

防災科学技術研究所では、津波ハザード情報（発生確率や沿岸最大津波高さなど）の提供を目的として、科学的知見に基づいて最大津波高さ等を評価し、確率論的津波ハザード評価を行う手法の検討を行ってきた³⁾。多数ケースの破壊シナリオによる津波シミュレーションを事前に実施し、地震発生時に観測データとシナリオとをマッチングして津波予測をリアルタイム化するための手法の開発も進められている⁴⁾。

一方、津波解析においては大きな不確実性が伴うことから、不確実性を定量的に評価する研究も、これまでも数多く行われている。例えば今村・首藤⁵⁾は、津波計算

において、断層長さと走向が津波波高の最高水位、時間波形、波高の空間分布に及ぼす影響を定量的に明らかにしている。栗田ら⁶⁾は、東北地方太平洋沖地震で得られた太平洋沿岸の痕跡高のデータに基づいて、津波解析による計算水位の推定値のばらつきについて検討し、海岸線からの距離や地形データの精度が及ぼす影響が大きいことを指摘している。安田ら⁷⁾は、断層面のすべり量分布を確率量とした確率津波モデルを提案し、これに基づく複数の初期水位に津波伝播計算を適用して沿岸部の到達津波高の確率分布を求め、津波の不確実性評価を行う手法を提案している。

津波リスク評価を行う上では、こうした不確実性を十分に考慮する必要がある。そのための方策として、例えば福谷ら⁸⁾は、ロジックツリーを用いて算出された確率論的津波ハザード曲線と、津波浸水深に対する建物の構造種別ごとのフラジリティー曲線を組み合わせて、定量的に津波リスク評価を行う手法を提案している。また佐藤ら⁹⁾は、地方自治体が実施する津波浸水想定において、津波シナリオや浸水想定条件を都道府県間で比較した。最大クラスの津波に備えるためには、浸水領域や浸水深を評価する際に、津波シナリオの多様性に配慮して、考え得る複数の計算条件による結果の最大値を取るなどの必要性を指摘している。小谷ら¹⁰⁾は、津波解析の評価結

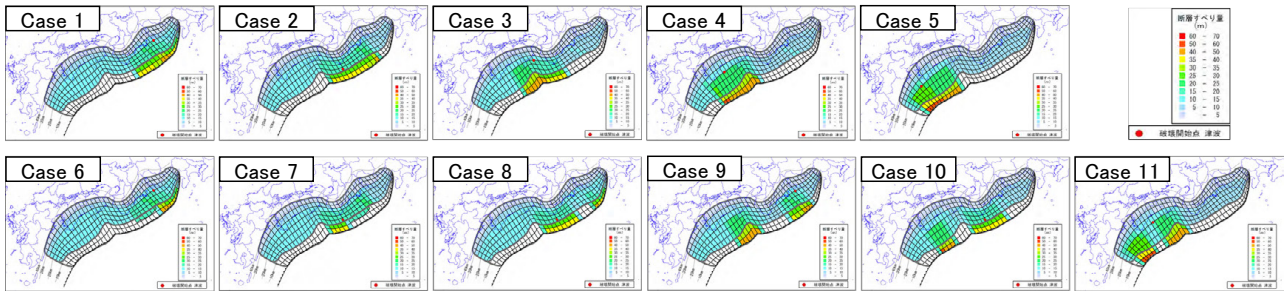


図1 南海トラフ巨大地震の津波断層モデル (文献²⁾より引用, 編集)

表1 南海トラフ巨大地震の津波断層パラメータ (文献²⁾を基に作成)

| タイプ | Case | 大すべり域, 超大すべり域 | | M ₀ [Nm] | Mw | 平均すべり量[m] | 派生の対象ケース (破壊開始点の位置) |
|--------------|---------|---------------------------|------------------------------|----------------------|-----|-----------|---------------------|
| | | 位置 | 配置パターン | | | | |
| 基本的な検討ケース | Case 1 | 駿河湾～紀伊半島沖 | 大すべり域+超大すべり域 | 6.1×10^{22} | 9.1 | 10.3 | |
| | Case 2 | 紀伊半島沖 | 大すべり域+超大すべり域 | 6.3×10^{22} | 9.1 | 10.7 | |
| | Case 3 | 紀伊半島沖～四国沖 | 大すべり域+超大すべり域 | 6.4×10^{22} | 9.1 | 10.9 | |
| | Case 4 | 四国沖 | 大すべり域+超大すべり域 | 6.4×10^{22} | 9.1 | 10.8 | |
| | Case 5 | 四国沖～九州沖 | 大すべり域+超大すべり域 | 6.3×10^{22} | 9.1 | 10.7 | |
| その他派生的な検討ケース | Case 6 | 駿河湾～紀伊半島沖 | 大すべり域+ (超大すべり域, 分岐断層) | 5.4×10^{22} | 9.1 | 9.0 | Case 1 (Case 1) |
| | Case 7 | 紀伊半島沖 | 大すべり域+ (超大すべり域, 分岐断層) | 5.3×10^{22} | 9.1 | 8.8 | Case 2 (Case 2) |
| | Case 8 | 駿河湾～愛知県東部沖 三重県南部沖～徳島県沖 | 大すべり域+超大すべり域 大すべり域+超大すべり域 | 6.2×10^{22} | 9.1 | 10.4 | Case 1, 2 (Case 2) |
| | Case 9 | 愛知県沖～三重県沖 室戸岬沖 | 大すべり域+超大すべり域 大すべり域+超大すべり域 | 6.7×10^{22} | 9.1 | 11.3 | Case 1, 3 (Case 1) |
| | Case 10 | 三重県南部沖～徳島県沖 足摺岬沖 | 大すべり域+超大すべり域 大すべり域+超大すべり域 | 6.4×10^{22} | 9.1 | 10.8 | Case 2, 4 (Case 2) |
| | Case 11 | 室戸岬 日向灘 | 大すべり域+超大すべり域 大すべり域+超大すべり域 | 6.6×10^{22} | 9.1 | 11.2 | Case 4, 5 (Case 4) |

果に応答曲面を適用し, モンテカルロシミュレーションによって任意地点における最大津波高を効率的に多数ケース生成し, 不確実性を定量化する方法を提案した. さらにシミュレーションによる津波高に主成分分析を適用し, 複数地点間の相関関係と相関の支配要因について考察を行っている¹¹⁾.

沿岸部に立地する基幹施設群の津波リスク評価においては, 複数施設の同時被害の考慮が必要であり, そのためには浸水深分布の空間相関の適切な評価が重要となる. また, こうしたポートフォリオとしての津波リスク評価では多種多様なケースによる総合的な評価が必要である.

能島ら^{12), 13)}は, 複数ケースの地震動分布におけるばらつき空間分布の評価手法として, 特異値分解を用いたモード分解手法と, モード合成によるシミュレーション手法を提案した. 本研究ではこれらの手法を津波の浸水深分布に応用し, その空間相関特性を評価するとともに, 空間相関を考慮した浸水深分布のシミュレーションを行うものである. 具体的には南海トラフの巨大地震モデル検討会が太平洋沿岸部を中心に想定している複数ケースの浸水深分布を対象として, 空間相関特性の評価およびシミュレーションを行う. さらに, 限定的な地域における浸水深分布の空間相関特性を評価し, 全域の空間相関特性との違いについて考察する.

2. 南海トラフ巨大地震による津波の浸水深分布

本研究では南海トラフの巨大地震モデル検討会の第二次報告¹⁾で公表されたデータを用いて検討を行う.

(1) 津波断層モデル

南海トラフの巨大地震モデル検討会では, 最大クラスの津波を引き起こす津波断層モデルとして, 基本的な検討ケース (以下, 「基本ケース」) である5ケース, その他派生的な検討ケース (以下, 「派生ケース」) である6ケースの計11ケース (図1, 表1) を検討している²⁾. 基本ケースでは, 津波断層モデル中に大すべり域と超大すべり域が1箇所設定されており, 全5ケースで南海トラフ沿いを網羅的に検討している. また, 破壊開始点は大すべり域の中心付近の深さ20kmに設定されている. なお, ケース2では過去の地震を基に紀伊半島の塩岬沖に破壊開始点が設定されている. 派生ケースでは, すべり域中に分岐断層を考慮した2ケース (ケース6, 7) と大すべり域と超大すべり域が2箇所設定された4ケース (ケース8～11) が検討され, 破壊開始点は派生の対象である基本ケースと同位置に設定されている.

(2) 浸水深分布

浸水深は, 沿岸部および陸上の遡上部分において10mメッシュで評価され, 0.01m単位のデータである. 浸水深を検討する際に, 津波断層は破壊開始点から破壊が進行していき, 潮位は満潮位として, 家屋などの障害物は粗度係数で表現されている. 堤防 (水門を含む) がある場合, 「地震動により堤防が機能しなくなる条件」と「津波が堤防を越えることで当該堤防が機能しなくなる条件」の2つが考えられている. 本研究では後者の条件による浸水深分布を用いる.

評価対象領域は日本平面直角座標第02系 (九州の大部分) から第09系 (関東周辺から宮城県) で, 各ケースで評価されたメッシュ数は約938万～約1093万, いずれかのケースで評価されたメッシュ数は約1501万である. その

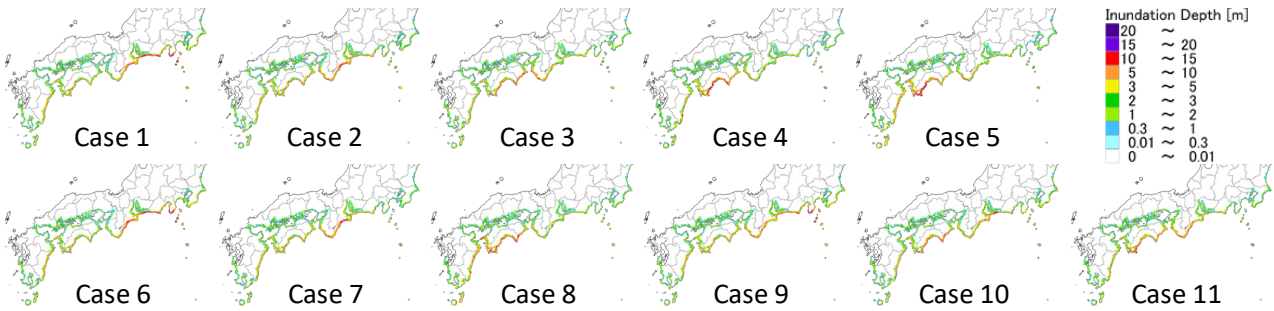
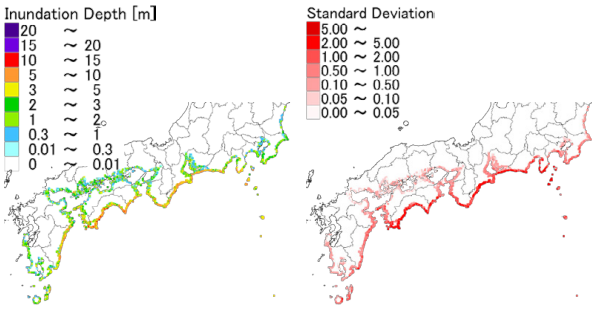


図2 全11ケースの津波による浸水深分布（文献¹⁾を基に作成）



(a) 平均浸水深 (b) 標準偏差
図3 全11ケースの浸水深の平均値と標準偏差

うち、全ケースで共通して浸水深が評価されているのは約664万メッシュである。その中から1000データごとに1データを抽出して、6644メッシュを分析対象とした。

図2に本研究で用いた11ケースの浸水深分布を示す。各ケースの浸水深分布から、大すべり域や超大すべり域の近傍を中心として、値が大きいことが読み取れる。図3に全11ケースの平均浸水深分布と標準偏差を示す。平均浸水深分布と標準偏差はともに、太平洋沿岸部で大きな値を示し、内海になるにつれ値は小さくなっている。

3. モード分解による浸水深の空間相関特性の評価

(1) 浸水深分布の特異値分解

浸水深分布の評価地点数を M とし、 N ケースの浸水深分布を $M \times N (=6644 \times 11)$ 行列 \mathbf{X} で表す。 \mathbf{X} 全体の平均値 μ_G と標準偏差 σ_G を用いて標準化し、特異値分解を用いたモード分解¹²⁾を適用する。

$$\mathbf{X}_0 = \mathbf{U}\mathbf{D}\mathbf{V}^T \quad (1)$$

ここに、 \mathbf{X}_0 は行列 \mathbf{X} を標準化した行列である。 \mathbf{U} 、 \mathbf{V} はそれぞれ左、右特異ベクトルを列とした行列、 \mathbf{D} は対角線上に特異値（固有値の正の平方根）が並ぶ対角行列である。 \mathbf{U} はばらつきのモード形状、 \mathbf{D} はケースに依存しない各モードの重み、 \mathbf{V} はケースに依存した各モードの重みを表す。以上のうち、 $\mathbf{U}\mathbf{D}$ は浸水深分布の空間相関を支配する基本構造であり、そこに \mathbf{V} の列である右特異ベクトルがケースごとに浸水深分布の特徴を与える。特異値分解によって得られる \mathbf{U} および \mathbf{V} の列ベクトルはそれぞれ直交しているため、空間分布への影響を各モードで独立して捉えることができる。

全11ケースの浸水深分布（図2）に対して特異値分解によるモード分解を適用するにあたっては、連続値として評価された浸水深 x [m] の下限値を0.1mとして常用対数変換した $\log_{10} \max\{x, 0.1\}$ を対象とした。

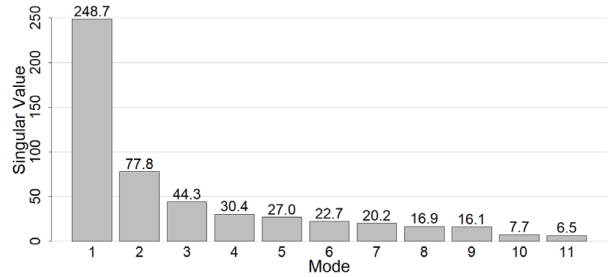


図4 各モードの特異値

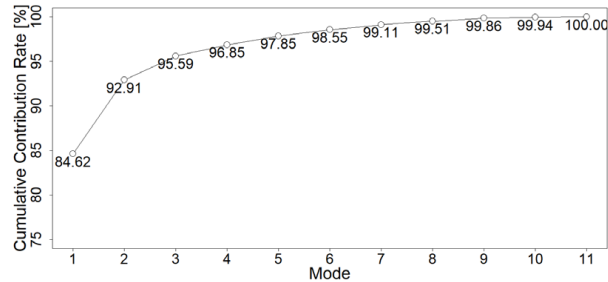


図5 各モードの固有値の累積寄与率

(2) モード分解による空間相関特性の評価

図4に各モードの特異値を示し、図5に各モードの固有値の累積寄与率を示す。1次モードが突出して大きく、累積寄与率は84.62%である。2次モード以降は1次モードと比較して小さいが、一定の寄与を示しており、6次モードで累積寄与率は98%を超える。

浸水深のモード形状を表す左特異ベクトル（正值は赤色、負値は青色、地点間で同符号は正相関、異符号は負相関を表す）と、各モードに対するケースごとの重みを表す右特異ベクトルを図6に示す。各モードの特徴と浸水深分布の関係について、図6と津波断層モデル（図1）を関連付けながら、以下に考察する。

- (1) モード1：左特異ベクトルは太平洋沿岸で正值、内海になるにつれ負値が分布しており、平均浸水深分布と類似した分布形状である。右特異ベクトルは全ケースではほぼ同一の値（平均値：0.3014、標準偏差：0.0070）を示す。これより、モード1では11ケースの平均的な浸水深分布の特徴を表している。
- (2) モード2：左特異ベクトルは基本的に紀伊半島を境に東方で正值、西方で負値が分布している。右特異ベクトルは紀伊半島以東に超大すべり域を含む大すべり域（以下、「大すべり域」）が設定されている基本ケースのケース1,2とその派生ケースで正值をとっている。これより、モード2では紀伊半島を境にした大すべり域の配置条件を反映している。
- (3) モード3：左特異ベクトルは紀伊半島とその周辺で正

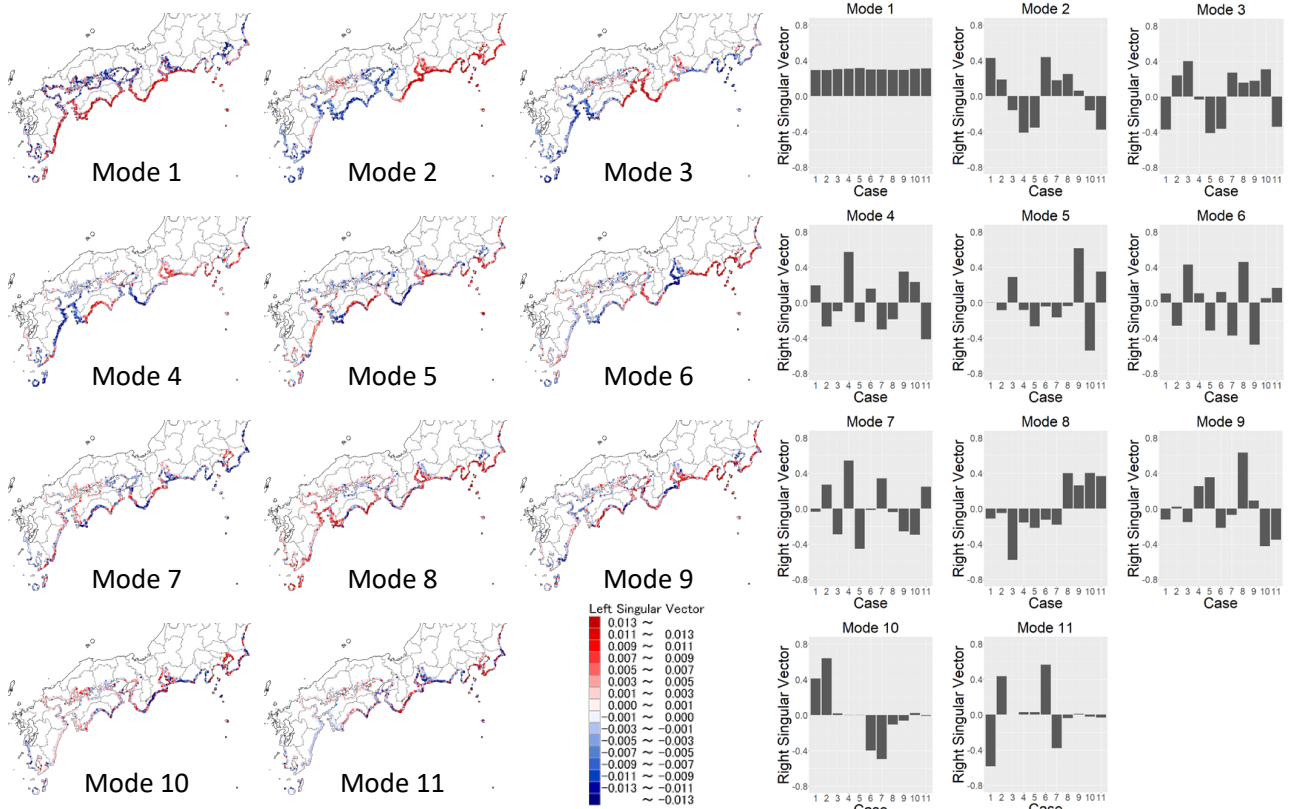


図6 各モードの左特異ベクトルの空間分布（左）と右特異ベクトル（右）

値、その両側で負値が分布している。右特異ベクトルは紀伊半島周辺に大すべり域が設定されている基本ケースのケース2,3とその派生ケースで正值をとっている。これより、モード3では紀伊半島周辺とその両側での大すべり域の配置条件を反映している。

- (4) モード4：左特異ベクトルは西から東に向かって、正值、負値、正值、負値と分布している。右特異ベクトルは左特異ベクトルが正值をとる領域（四国また愛知県以東の領域）の近傍に大すべり域が位置する基本ケースのケース1,4とその派生ケースで正值をとっている。これより、モード4では上記の4分割された領域における大すべり域の配置条件を反映している。
- (5) モード5以降：左特異ベクトルは基本的に断層走向方向にモード次数だけ分割され、正負交互に分布している。右特異ベクトルは基本ケースおよび対応する派生ケースの間において類似する傾向がある。これより、大すべり域の配置条件を反映している。ただし、高次モードほど左特異ベクトルの分布形状が複雑化しており、各ケースの細部の調整項としての役割を果たしていると考えられる。

4. 空間相関を考慮した浸水深分布シミュレーション

(1) モード再合成による浸水深分布シミュレーション

3. (1)で記したように特異値分解を用いたモード分解によって得た行列 \mathbf{UD} が全ケースの浸水深分布の空間相関を支配する基本構造であるのに対し、行列 \mathbf{V} を構成する右特異ベクトルは空間相関構造に依存しない各ケースの特

徴を表す。そこで、 \mathbf{U} および \mathbf{D} を保持したまま、 \mathbf{V} の行ベクトルを別の $N(=11)$ 次元ベクトルに置き替えるシミュレーションを実施することで、 N ケースがもつ浸水深のばらつきの空間相関を考慮した浸水深分布サンプルを作成できる¹²⁾。ここで、各ケースの N 次元ベクトルのシミュレーション手法として、文献¹²⁾と同様に統計的拘束条件法¹⁴⁾を用いる。統計的拘束条件法では余弦関数の周期性と選点直交性が利用されており、その結果は厳密に正規直交性を満たす。本手法の試行回数は $S=4NN_f$ (N_f : 重ね合わせる余弦関数の総数) となる。

式(1)の $N \times N$ 行列 \mathbf{V} を $S \times N$ 行列 \mathbf{W} (シミュレーションによる S ケースの N 次元ベクトル) に置き替え、モード合成する。

$$\mathbf{Y}_0 = \mathbf{UDW}^T \quad (2)$$

モード合成された行列 \mathbf{Y}_0 は $M \times S$ 行列となる。 \mathbf{Y}_0 に対して平均値 μ_G と標準偏差 σ_G を用いた標準化の逆変換を行うことで、 S ケースの浸水深分布のシミュレーション結果が得られる。

本研究では、統計的拘束条件法の重ね合わせ回数を $N_f=4$ 、試行回数を $S=4NN_f=4 \times 11 \times 4=176$ とし、浸水深分布を生成した。対数変換を行った11ケースの地点 i における平均値を μ_i 、標準偏差 σ_i とし、シミュレーション結果の上限値を $\mu_i+1.5\sigma_i$ 、データの下限值を -1 (0.1m相当) とした。ただし上限値は元データ (図2) とシミュレーション結果の分布を比較して探索的に設定した暫定値である。

(2) シミュレーション浸水深分布

図7にシミュレーションにより生成した176ケースのうち11例を示す。これより限定的なケース数から多数ケースのサンプルが生成できることを示した。また、シミ

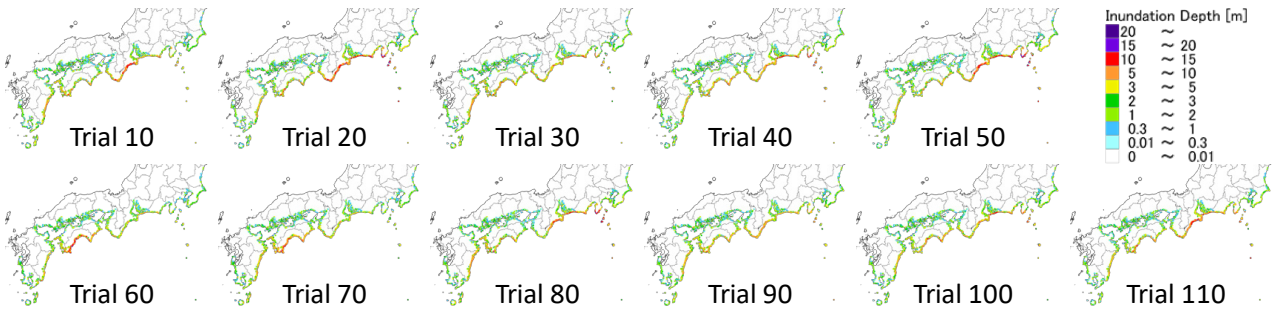


図7 シミュレーション浸水深分布の一例

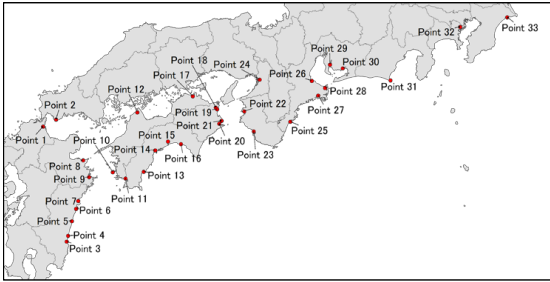


図8 代表33地点の位置

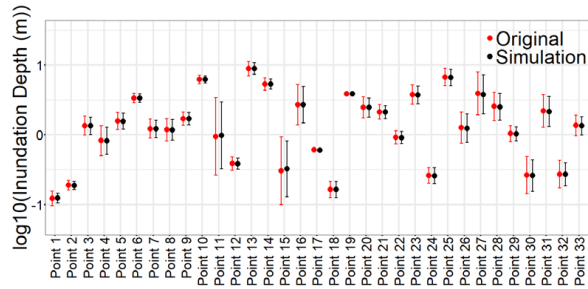


図9 代表地点における浸水深の平均±標準偏差（常用対数表示）

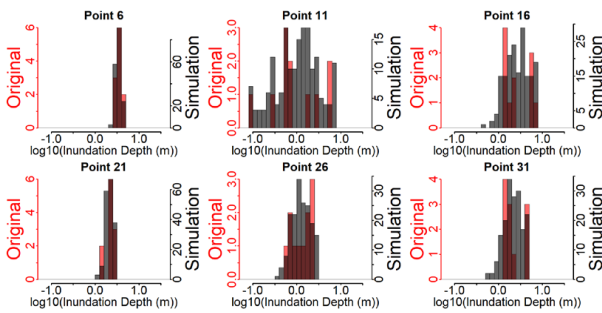


図10 代表地点における浸水深の度数分布図

（常用対数表示，赤：Original，黒：Simulation）

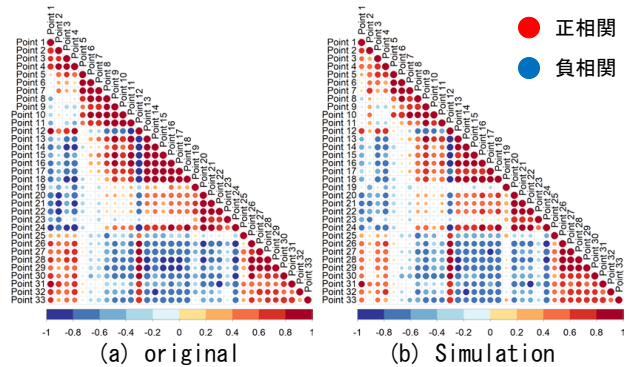


図11 代表地点間の相関係数

シミュレーション結果と元データである11ケースの浸水深分布には類似した傾向が見て取れる。

(3) 代表地点におけるばらつきと地点間相関

浸水深の評価地点から無作為に選定した33地点（図8）を対象として、浸水深のばらつきと地点間相関について、元データの11ケースとシミュレーションの176ケースの比較を行う。図9に各地点における浸水深の平均値±標準偏差を示し、図10に各地点における浸水深の度数分布図の一例を示す。これよりシミュレーション結果は元データの平均値および標準偏差を再現しており、さらに元データの浸水深の度数分布を表現しつつ、その分布を補完するような浸水深を生成していることがわかる。

図11では元データおよびシミュレーション結果における代表地点間の相関係数をシンボルの色調と大きさで表示した。これよりシミュレーション結果は元データの負相関を含む地点間相関の特徴を捉えており、提案手法より元データのばらつきとその空間相関を適切に反映した多数ケースの浸水深分布を生成できている。

5. 限定地域における浸水深分布の空間相関特性の評価とシミュレーション

(1) 限定地域の浸水深分布

浸水深分布の分析および評価として、2.～4.では全国域で評価された浸水深分布を対象とした。本章ではその中の限定的な地域における浸水深分布を対象とする。具体的には、三重県東部および愛知県を中心とした地域における浸水深分布を対象とし、その空間相関特性の評価および空間相関を考慮した浸水深分布シミュレーションを行う。限定地域を対象範囲とすることで、その地域の地理的・地形的条件を考慮した浸水深分布の特徴について考察する。さらに全域との結果と比較を行うことで、限定地域の特徴について考察する。

対象の限定地域において、全ケースで共通して浸水深が評価されているのは約102万メッシュである。その中から50データごとに1データを抽出して、20463メッシュを本章の分析対象とした。

図12に本章で対象とする11ケースの浸水深分布を、図13に全ケースの平均値と標準偏差の分布を示す。対象範囲の近傍に大すべり域が位置する基本ケースのケース

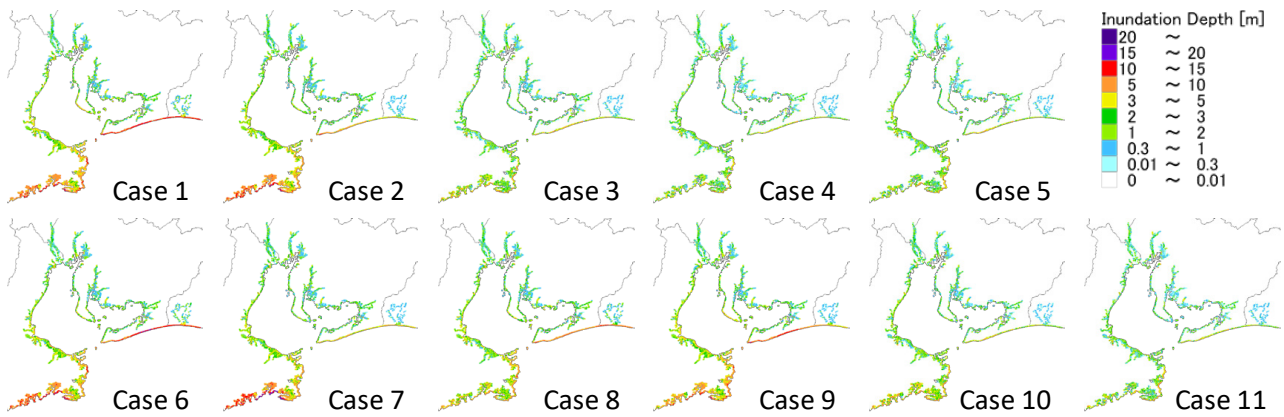


図12 限定地域における全11ケースの津波による浸水深分布（文献¹⁾を基に作成）

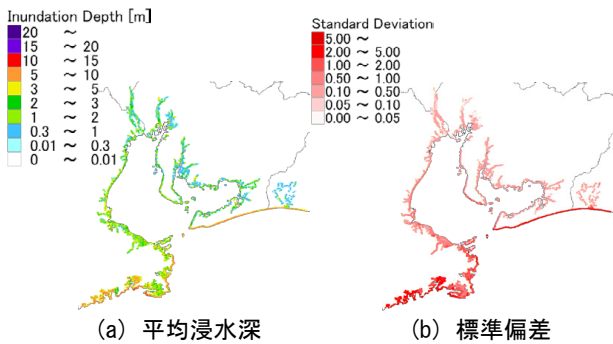


図13 限定地域における浸水深の平均値と標準偏差

1, 2とその派生ケースでは、太平洋沿岸で5m以上の浸水深の分布が見られる。それ以外のケースでは全体の浸水深レベルが一様に小さくなっている。

リアス海岸における浸水深分布の平均値は海岸の奥でも基本的に3m以上となっている。三重県南部の陸域では、海岸から1km以上離れた地点でも遡上した津波によって、浸水深の平均値は基本的に1m以上である。標準偏差については太平洋沿岸、特に三重県のリアス海岸で大きな値が分布している。また渥美半島においては、太平洋側で平均値および標準偏差が大きな値が分布するが、三河湾側で比較的小さな値が分布する。

(2) モード分解による限定地域の空間相関特性の評価

限定地域における各モードの特異値を図14に、固有値の累積寄与率を図15に、モード5までの左特異ベクトルの分布図と右特異ベクトルを図16に示す。また、図6の全域における左特異ベクトルの拡大図および右特異ベクトルを図17に示す。

限定地域の結果は、モード1~3において全域とおおむね類似した傾向を示すものの、特徴的な点も見られる（注：符号の反転については左・右特異ベクトルの積で相殺する）。その違いが生じる主要因は、限定地域においては、対象範囲外の浸水深の変動は無関係となり、対象範囲内の変動のみに影響される点にある。

最大の違いは、限定地域においてモード2の寄与率が大幅に増加していることである。図5と図15より、モード1を除く累積寄与率（すなわち平均的な浸水深分布以外の各ケースを特徴づける要因の累積寄与率）におけるモード2の寄与率を比較する。全域では約15%のうち約8%に過ぎないのに対して、限定地域では約20%のうち約15%を占めている。図16よりモード2は対象範囲内です

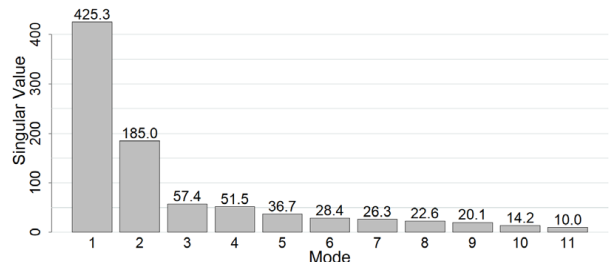


図14 限定地域における各モードの特異値

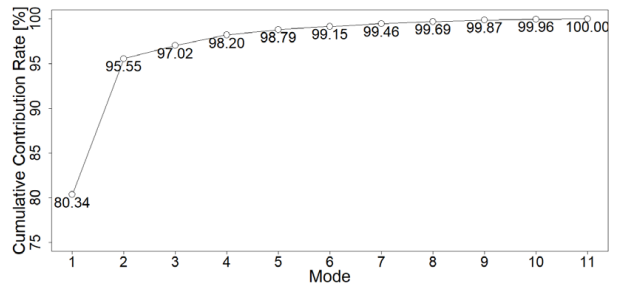


図15 限定地域における固有値の累積寄与率

べて同符号で、地点間の相関が正相関となるモードである。近傍での大すべり域の有無による浸水深レベルの様な変動を表すことは前述の通りであるが、このことが限定地域では特に支配的要因となることがわかる。なお、図17におけるモード2も正相関であるが、図6のモード2において、西側と負相関の関係にある東側が拡大表示されたものである。

モード3に関しては、全域の図6では広域的な領域分割パターンとして解釈した。しかし図16に着目すると、さらに細部の特徴を明確に読み取れる。木曾三川など河川沿いの内陸部や志摩半島南岸などで正值をとり、ケース2, 3, 7, 10で浸水深レベルが大きくなっている。河川沿いやリアス式海岸での津波遡上の影響などを表すものと考えられる。

4次モード以上では、全域の拡大図（図17）と限定地域（図16）の間で類似傾向が見られない。図17のモード4はモード2と相違が不明瞭であるが、図16のモード4は明確に東西の領域分割パターンとなっている。これは図17は各モードの直交条件を満たさない一方、図16は満たすことによると考えられる。

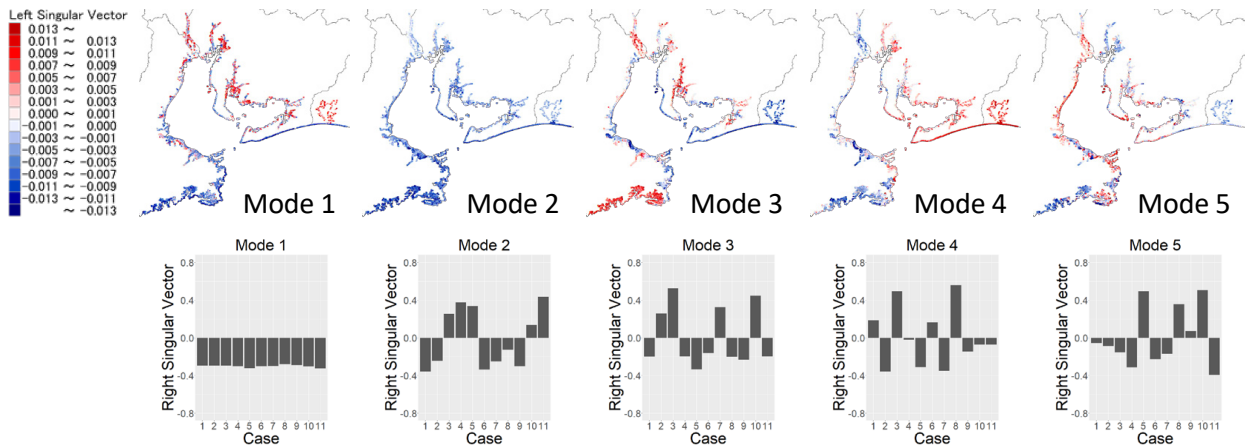


図 16 限定地域におけるモード5までの左特異ベクトルの空間分布（上段）と右特異ベクトル（下段）

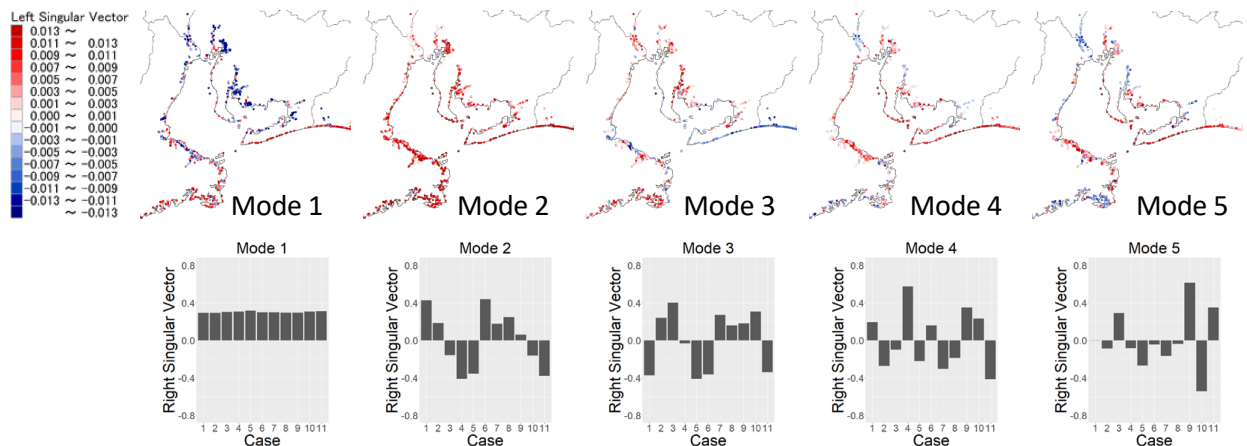


図 17 全域におけるモード5までの左特異ベクトルの空間分布の拡大図（上段）と右特異ベクトル（下段，再掲）

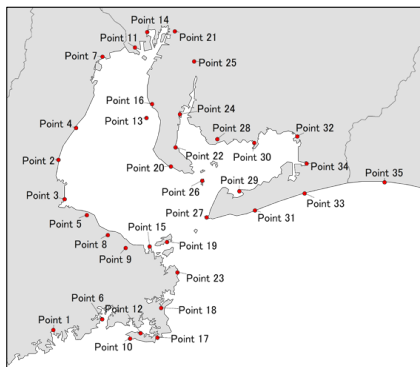


図 18 限定地域における代表 35 地点の位置

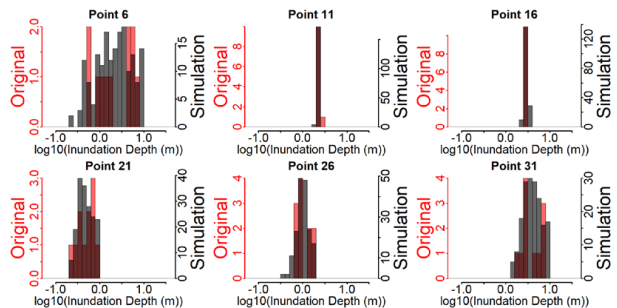


図 19 限定地域の代表地点における浸水深の度数分布図（常用対数表示，赤：Original，黒：Simulation）

(3) モード再合成による限定地域の浸水深分布シミュレーション

モード再合成による浸水深分布のシミュレーション（試行回数 $S=176$ ）を実施し，代表 35 地点（図 18）における浸水深の度数分布図の一例を図 19 を示す．なお，シミュレーションの条件設定については 4. と同様である．図 19 より，シミュレーション浸水深分布は元データを補完した度数分布となっていることがわかる．しかし，Point 11 のような元データの浸水深を表現しきれていない地点も見られ，シミュレーションにおける上限値設定について，より詳細な検討が必要である．

限定地域における代表地点間の相関関係（図 20）は，正相関が支配的である．限定地域において全域で正相関を示す要因としては，モード 2 の空間相関構造が支配的であると考えられる．多数施設の同時被害リスクの低減

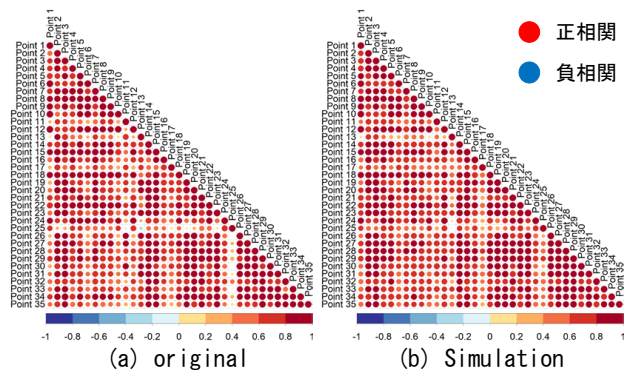


図 20 限定地域における代表地点間の相関係数

を目的として施設の分散配置を行うには，こうした狭域での分散では効果が小さく，空間相関が負相関となるような広域での分散配置が必要であることがわかる．

6. おわりに

本研究では、南海トラフ巨大地震において想定される11 ケースの津波浸水深分布²⁾を対象として、浸水深分布の空間相関特性の評価とそのシミュレーションを行ったものである。得られた成果を以下にまとめる。

- (1) 津波浸水深分布の空間相関特性を評価するため、特異値分解によるモード分解を適用した。1次モードでは平均的な浸水深分布の形状を、2次モード以降では超大すべり域を含む大すべり域の配置条件を反映している。
- (2) モード再合成によるシミュレーション手法によって、多数ケースのシミュレーション浸水深分布を生成した。シミュレーション浸水深分布は、元データの平均値や標準偏差を適切に表現し、さらに地点間の相関構造を反映していることを示した。また、多数ケースのシミュレーションにより、少数ケースの元データでは表現しきれない浸水深分布のパターンを補完できることを示した。
- (3) 比較のため、地域を限定して空間相関特性の評価を行った結果、限定地域の1~3次モードは全域と類似した傾向を示した。ただし、近傍の大すべり域の有無によって浸水深レベルがほぼ一様に変動することを反映して、地域内で正相関となるモード2の寄与率が増大した。またモードの直交性が限定地域内で満たされるため、全域の単純な拡大図よりも細部の特徴が明確に表現された。

本研究では11ケースのみを対象としたが、今後の課題として、すべり角やすべり量の設定条件などの面で、より多様性を持つ多数の浸水深分布を用いた検討が必要である。現在では「波源断層を特性化した津波の予測手法(津波レシピ)¹⁵⁾」が整備されており、防災科学技術研究所では津波ハザードを含めた総合ポータルサイトの構築が計画されている¹⁶⁾。今後、多数ケースの浸水深分布が利用可能となる見込みであることから、複数施設群を対象としたポートフォリオの津波リスク評価に発展させることを検討している。

謝辞

本研究で使用した浸水深分布は、南海トラフの巨大地震モデル検討会の第二次報告²⁾における成果として、内閣府よりデータ提供を受けたものである。またデータ整理にあたっては、岐阜大学大学院工学研究科博士課程 加藤宏紀氏の協力を得た。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会，
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html> (最終アクセス 2019年8月13日)

- 2) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：(第二次報告)津波断層モデル編 -津波断層モデルと津波高・浸水域等について-，2012.8.29.
- 3) (国研)防災科学技術研究所：日本海溝に発生する地震による確率論的津波ハザード評価の手法の検討，防災科学技術研究所研究資料，第400号，2015.
- 4) (国研)防災科学技術研究所：津波浸水の即時予測を目的とした津波シナリオバンクの構築，防災科学技術研究所研究資料，第430号，2019.
- 5) 今村文彦，首藤伸夫：津波高さに及ぼす断層パラメータ推定誤差の影響，海岸工学論文集，第36巻，pp.172-182，1989.
- 6) 栗田哲史，松山昌史，内野大介：東北地方太平洋沖地震津波の痕跡値を用いた津波解析のばらつき評価，土木学会論文集 B2(海岸工学)，第69巻，第2号，pp.I_216-I_220，2013.
- 7) 安田誠宏，丸山拓真，Katsuichiro Goda，森信人，間瀬肇：確率津波モデルを用いた南海トラフ巨大地震津波の不確実性評価，土木学会論文集 B2(海岸工学)，第71巻，第2号，pp.I_295-I_300，2015.
- 8) 福谷陽，Suppasri Anawat，安倍祥，今村文彦：確率論的津波遡上評価と津波リスクの定量化，土木学会論文集 B2(海岸工学)，第70巻，第2号，pp.I_1381-I_1385，2014.
- 9) 佐藤遼次，福谷陽，林孝幸：地方自治体における津波浸水想定と比較，地域安全学会梗概集，No.40，pp.11-14，2017.6.
- 10) 小谷琢磨，高瀬慎介，森口周二，寺田賢二郎，福谷陽，大竹雄，野島和也，桜庭雅明：応答曲面を用いた数値解析援用確率論的津波ハザード評価，土木学会論文集 A2(応用力学)，第72巻，第1号，pp.58-59，2016.
- 11) Kotani, T., Moriguchi, S., Terada, K., Takase, S., Otake, Y., Fukutani, Y. and Sakuraba, M.: A Tsunami Risk Analysis Considering Correlations Among Coastal Cities, 7th Asia Conference on Earthquake Engineering, Paper No.ACEE0095, 2018.
- 12) 能島暢呂，久世益充，LE QUANG DUC：シナリオ地震動予測地図の特異値分解によるモード分解と地震動分布のシミュレーション，日本地震工学会論文集，第18巻，第2号，pp.2_95-2_114，2018.
- 13) 能島暢呂，久世益充，高橋幸宏：シナリオ地震動予測地図のモード分解による予測震度分布の空間相関特性の分析，日本地震工学会論文集(報告)，第19巻，第1号，pp.1_121-1_135，2019.
- 14) Yamazaki, F. and Shinozuka, M.: Simulation of Stochastic Fields by Statistical Preconditioning, Journal of Engineering Mechanics, Vol.116, Issue 2, ASCE, pp.268-287, 1990.
- 15) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：波源断層を特性化した津波の予測手法(津波レシピ)，34p., 2017.1.
- 16) (国研)防災科学技術研究所：地震ハザードステーション，
http://www.bosai.go.jp/activity_general/result/result_06.html (最終アクセス 2019年8月13日)。

(原稿受付 2019.8.23)

(登載決定 2020.1.11)