

3D データを用いた水災害時の垂直・水平避難行動モデルの

シミュレーションと一時避難場所の創出に関する研究

大阪公立大学工業高等専門学校 総合工学システム学科 都市環境コース 講師 白柳 博章

1. 研究の背景と目的

日本は、地震による津波、台風による高潮、河川氾濫など、様々な水災害リスクを抱えている。これらの災害から人命を守るためには、迅速かつ適切な避難行動が不可欠である。従来の水災害に対する避難計画は、安全な場所に移動する「水平避難」を前提としている。しかし、近年では、浸水速度の速い都市部で、水平避難が困難なケースも増えている。そこで注目されているのが、「垂直避難」である。これは、高台や建物の高層階など、水没しない場所に避難する方法である。垂直避難は、短時間で安全な場所へ移動できるという利点があるが、現状の水害対策においては、水平避難を前提として計画されており、国土交通省や地方自治体も重要性を明言しているものの、垂直避難行動に対する定量的な評価がなされていないという課題があると考えられる。

そこで、本研究では大阪市此花区において大規模な高潮・津波が発生した場合を想定し、3D-PLATEAU データを活用し、津波・高潮の浸水による屋上避難施策に伴う一時収容者数の試算と地区格差に対する定量的評価を行った。各章の概要を以下に示す。

第2章では、分析に用いる3D-PLATEAUデータの概要を示すとともに、水災害に対する防災避難計画の現状と課題を整理する。

第3章では、第2章での課題を踏まえ、水災害に対する垂直水平避難モデルと屋上避難施策の提案を行う。

第4章では、大阪市此花区における春日出北1丁目を評価対象地域として、垂直水平避難モデルと屋上避難施策による一時収容者数の試算を行う。

第5章では、大阪市此花区を対象として第4章と同様の試算を行った上で、大字ごとの避難所充足率の格差評価についての記述を行う。

第6章では、本研究のまとめを行った上で、今後の課題と研究の展望について示す。

2. 水災害に対する防災避難計画の現状

2.1 3D-PLATEAUの概要

垂直避難行動に対する定量的評価を行うにあたり、国土交通省では2022年度に全国123都市の3D都市モデル（3D-PLATEAU [プラトー]）のオープンデータ化を完了させ¹⁾、順次3Dデータの整備対象都市の拡大やデータ拡張が行われている現状にある。これは、今まで2Dが主流であった空間情報を3Dに拡張したものであり、PLATEAU上で3Dのハザードマップも作成可能となっている。図-1は3D-PLATEAUデータを利用して春日出北1丁目の建物と道路状況を図示したものである。3D-PLATEAUから使用した主なデータは各建物の高さ、階数、建物の構造種別、津波高潮の最大浸水深である。

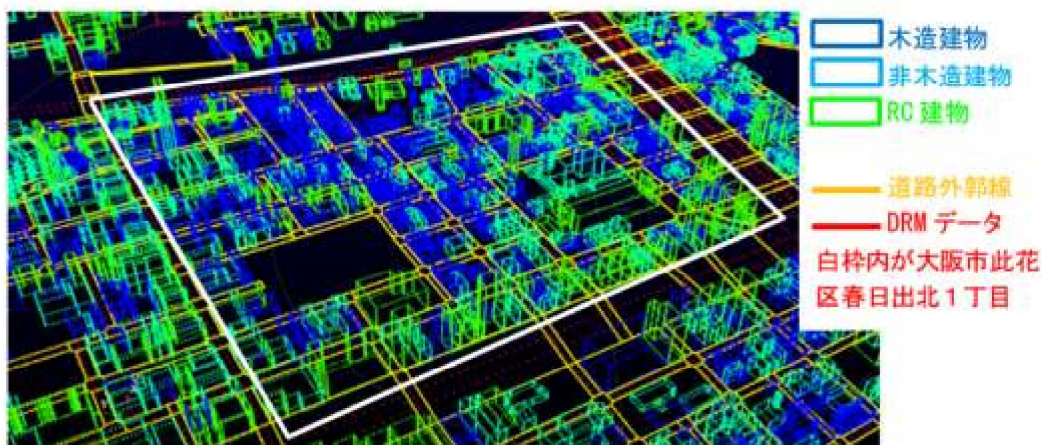


図-1 春日出北1丁目内の建物・道路の3D化

2.2 水災害に対する防災避難計画の現状

現状の防災避難計画では、図-2に示すように、水害のリスクが高まった避難対象地域について地域全体に居住する人々全員①②を避難所へ水平移動③にて避難所④へ避難させることが基本となっている。よって避難地域内における建物の配置・面積・階数といった属性が考慮されておらず、当然建物内で安全な階②や危険な階①も不明なままである。

また、避難対象地域にいる全ての人が避難所に逃げるという前提で避難計画が立てられているが、実際に水害が発生した場合には、図-2の④のような近くの高い建物に行くか、建物内での安全階②に逃れるという行動が多くを占めていると考えられ、避難計画と現実乖離が起きている状況である。

図-2を見ても明らかなように、水平移動③が長くなるにつれ、避難者が浸水に遭遇するリスクが高まる。よって、水平移動③をできるだけ少なくするような、一時避難所の創出が急務である。

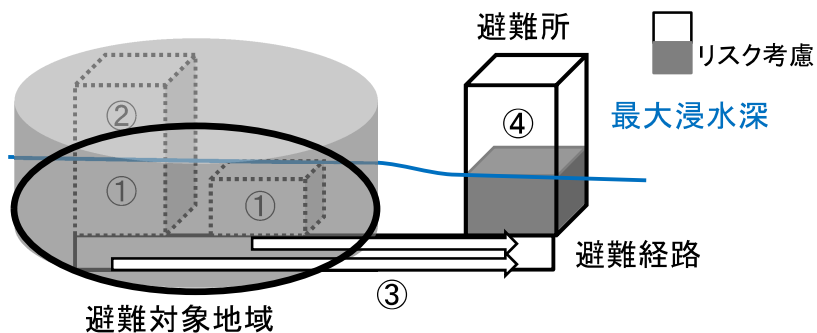


図-2 水災害に対する防災避難計画の現状イメージ

3. 水災害に対する垂直水平避難モデルと屋上避難施策の提案

3.1 垂直水平避難モデルの提案

2.2で述べた水害に対する現状の避難計画の課題に対する解決方法の1つとして、本研究では、3D-PLATEAUデータを用いた垂直水平避難モデルを提案する。そのイメージを図-3に示す。

なお、各建物の高さを階数で除することにより、その階数の高さを抽出した。その高さと同様浸水高さを比較し、安全な階かどうかの判定を各建物・各階ごとに行った。

そして、A) すでに安全な階にいる人はその場所にとどまる、B) 安全な階が存在する建物にいるがその場所が安全でない人は、上の階に垂直避難する、C) 安全な階が存在しない建物にいる人は、一時避難所へ垂直水平避難するものと仮定した。

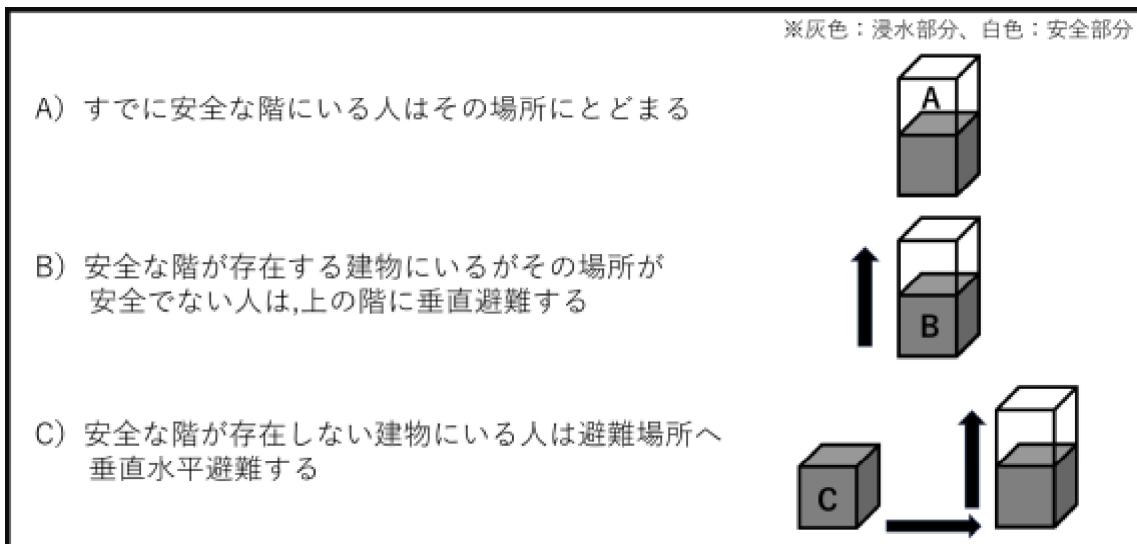


図-3 垂直水平避難モデルのイメージ

3.2 一時避難における屋上避難施策の提案

図-3 の B)C)の人数が、一時避難場所である津波避難ビルでの収容人数を上回る場合には、津波避難ビルだけではなく、他の一時避難場所の創出を行う必要がある。本研究では、新たな一時避難場所として、中高層建物の屋上を活用するとして屋上避難施策の提案を行なった。

一時避難場所を建物の屋上に限定した理由としては、建物のセキュリティ等の関係上、建物内部を避難場所として利用するよりも、建物所有者や居住者の理解を得やすく、施策の実現可能性が高いと考えたからである。さらに、水害そのものの破壊力や地震による被害、火災などの水害とは別の災害の発生を考慮し、一時避難場所として利用する建物を RC 造の建物に限定した。

4. 春日出北 1 丁目における垂直水平避難モデルと屋上避難施策による一時収容者数の試算

4.1 評価対象地域の概要

評価対象地域は、大阪湾に面し、海拔 0m 以下のエリアが広がる大阪市此花区とし、まずは大阪市此花区の区役所がある春日出北 1 丁目にて、提案した垂直水平避難モデル・屋上避難施策に基づく試算を行った。なお、春日出北 1 丁目の昼間人口は 1,777 人、夜間人口は 1,403 人、建物軒数は 530 軒であり、住宅地と商業地が混合した地区である。

4.2 津波・高潮により想定される最大浸水深

大阪市における 3D-PLATEAU データには、建物ごとに津波・高潮により想定される最大浸水深がすでにデータ化されている。表-1 に此花区における津波・高潮の浸水高さの平均値・最大値、ならびに地盤標高の平均値・最大値・最小値を示す。

表-1 此花区の津波、高潮、地盤標高に関するデータ

	平均値(m)	最大(m)	最小(m)
津波	4.16	5.08	
高潮	7.42	8.45	
地盤標高	-1.78	2.47	-2.36

4.3 安全な階が存在する建物軒数

当該地区において表-2 に階数ごとの建物軒数と津波・高潮により安全な階が存在する割合を示す。その結果、4 階以上の建物は津波・高潮の両パターンとも、安全な階が必ず存在する。3 階建ての建物を対象としたとき、津波の場合 129 軒中 126 軒が安全な階と判定された。しかし、高潮の場合 28 軒のみが安全とされた。次に 2 階建ての建物を対象としたとき、津波の場合 311 軒中 54 軒が 2 階を安全な階と判定され、高潮の場合 2 軒のみとなった。津波の場合、3 階から 2 階にかけての安全な階が存在する割合が 97.7%から 17.4%に減少した。高潮の場合、4 階から 3 階にかけての割合が 100%から 21.7%に減少した。

表-2 階数ごとの安全な階が存在する割合

	建物軒数	津波 (%)	高潮 (%)
4階以上	40	100	100
3階	129	97.7	21.7
2階	311	17.4	0.6
1階	50	0	0

4.4 すでに安全な階にいる人数、安全な階に避難する人数、避難所に避難する人数の算定

当該地区において昼間人口を図-3 に示す垂直水平避難モデルを適用した結果を表-3 に示す。各建物・階の人口の算出については、建物の階ごとの面積は建物ごとに記載されている図形面積に等しいと仮定した上で、さらに人口を図形面積に応じて建物の階ごとに割り振ることにより算出した。

その結果、津波の場合 A) 661 人、B) 574 人、C) 542 人と算定され、C) の避難所へ避難すべき人数の割合は地区全体の人数のおよそ 30%となった。高潮の場合 A) 356 人、B) 385 人、C) 1,036 人と算定され、避難所に避難すべき人数の割合は 58%となった。

表-3 津波・高潮における垂直水平避難モデルの算定結果

	津波	高潮
A)	661	356
B)	574	385
C)	542	1036

4.5 津波避難ビルの現状

4.4 より、春日出北 1 丁目の昼間人口 1,777 人のうち、津波が発生した際に 1,116 人が何かしらの避難行動をとる必要があり、そのうち 542 人が水平避難を行う必要があるということがわかった。高潮が発生した際には 1,421 人が避難行動を、1,036 人が水平避難を行う必要があるとわかった。此花区には大阪市が指定した津波避難ビルとなっている建物が 103 棟あるが、春日出北一丁目には老人ホーム 1 棟のみが指定されている。その想定収容人数は 501 人であるため、当該地区では想定される避難人口に対し、津波避難ビルの想定収容人数が足りていない試算となった。

4.6 屋上避難が可能な人数の算定

此花区にある津波避難ビルの中で、屋上のみ避難が推奨されている建物が 5 棟存在するため、それらの建物の屋上面積から各避難ビルの想定避難人数を割り、その平均を求めることで一人当たりの避難に必要な面積を算出した。その結果一人当たりの避難に必要な面積は 4.46 m²であると分かった。これを用いて、春日出北 1 丁目において、一時避難所として使用できる建物の屋上をすべて解放した際にどれだけの人が

避難できるかの分析を行なった。その結果、2,045 人が収容可能であるという結果が得られ、本施策により、春日出北 1 丁目の昼間人口 1,777 人を上回っていることから、十分な収容者数を大字内で確保できているといえる。また春日出北 1 丁目に存在する避難所として活用可能な建物の屋上をすべて解放することが不可能であるとしても、全体の約 89%を解放できれば理論上は春日出北 1 丁目の昼間人口全員を収容することができ、高潮が発生した際に避難の必要がある 1,421 人の収容を考えた場合、全体の約 40%を解放できれば、老人ホームの想定収容人数 501 人を除いた 920 人の収容が理論上可能である。

5. 此花区における大字ごとの避難所充足率の格差の評価

5.1 此花区における津波避難ビルの整備状況

此花区の津波避難ビルの所在地情報、想定避難人数のデータを用いて、此花区の各大字が昼夜間人口に対して収容人数を満たしているかどうかの判定を行った。

判定結果は、此花区の昼間人口が存在する 57 大字のうち、避難ビルの収容人数が昼間人口を上回る大字は 16 大字、夜間人口が存在する 45 大字のうち避難ビルの収容人数が夜間人口を上回る大字は 15 大字となった。このことから、現在の指定避難ビルのみでは、過半数の大字で避難場所が不足していることが明らかとなった。

5.2 此花区における屋上避難が可能な人数の算定

前章と同様の分析を此花区のすべての大字について行った。各建物の建築面積・構造種別ならびに高潮の最大浸水深は 3D-PLATEU のデータ、各大字の昼夜人口は平成 27 年度の国勢調査のデータを用いた。なお、区域内の RC 構造物かつ高潮の最大浸水深を超えている建物の屋上が避難可能であると仮定した。

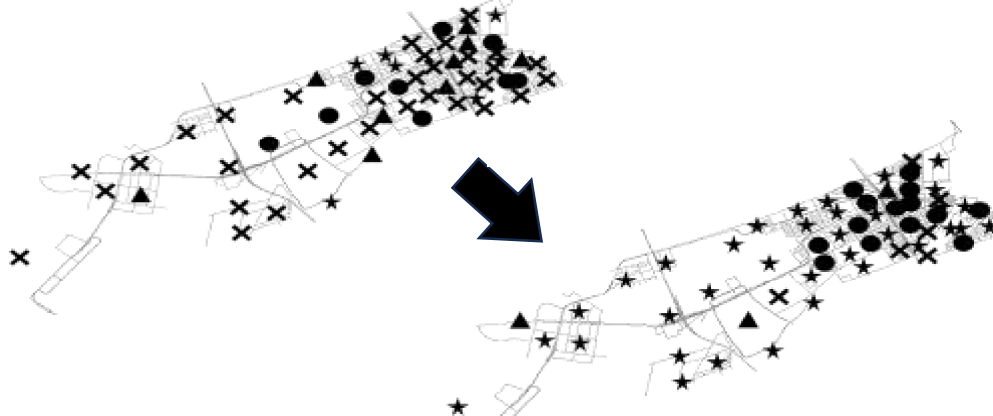
その結果、昼間人口において収容人数を満たしている（充足している）大字は表-4 に示すように 57 大字中 49 大字、夜間人口においては 45 大字中 39 大字となった。仮に此花区全体で RC 構造物の屋上を 100%一時収容可能とするなら約 200,000 人の一時避難場所を創出できるとわかった。

表-4 屋上避難施策による充足大字数の比較

	大字数	施策前	施策後
昼	57	16	49
夜	45	15	39

5.3 避難所充足率の大字ごとの格差

大字の人口に占める屋上避難における収容者数の割合を避難所充足率と定義し、屋上避難施策前後での避難所充足率を算出し図示したものを図-4、図-5 に示す。



充足率 ×: 0-50% , ▲: 50%~100% , ●: 100%~200% , ★: 200%以上

図-4 昼間人口から見た避難所充足率の変化

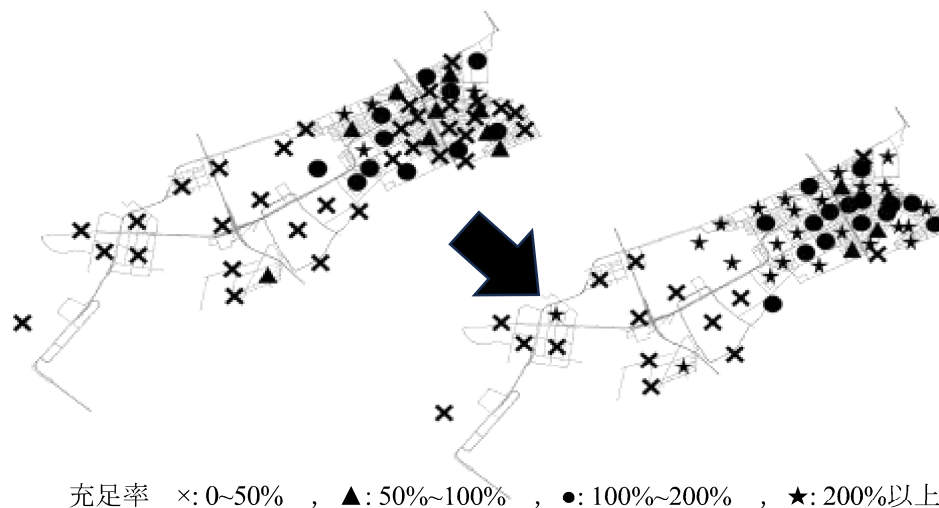


図-5 夜間人口から見た避難所充足率の変化

この施策を行うことで、8割を超える大字が収容人数を満たすことができる。また昼夜両方とも避難所充足率が100%以上となる大字が増加しているため、時間帯によって避難ができなくなる可能性を低減できる。

6. 本研究のまとめと今後の課題・展望

大阪市此花区において大規模な高潮・津波が発生した場合を想定し、3D-PLATEU データを活用し、津波・高潮の浸水による屋上避難施策に伴う一時収容者数の試算と地区格差に対する定量的評価を行った結果、此花区全体でRC構造物の屋上が100%一時収容可能とするなら、此花区の人口（昼間人口81,835人、夜間人口66,656人）のおよそ2.4~3.0倍の約200,000人の一時避難場所を創出できることを数量的に示すことができた。また、屋上避難施策により、大字での避難場所充足率を大幅に改善することが出来、これは、水平避難を大字内で行える防災避難計画が可能であることを示せたといえる。

しかしながら、屋上避難施策を実行し、避難者が垂直水平避難を適切に実現できるために、必要となる課題は数多い。今後の課題と展望を以下(1)~(5)に整理して示す。

(1) 屋上避難施策に関する課題

屋上を一時避難場所として利用するこの施策は、建物内部を避難所として活用するよりもセキュリティなどの関係上ハードルが低いと考えられるが、屋上を一時避難場所として利用可能な建物のほとんどは民間のものであり、屋上が一般に開放されていない場合は、緊急時のセキュリティの緩和措置や、施策協力における税制等の優遇策を進めることにより、住民と自治体との協力体制を深める必要がある。

また、此花区においては昼夜どちらも充足率が不足している大字が約15%存在する。これらの大字では、大字間での水平避難が必要であり、周辺の大字を含んだ住民と自治体との協力体制を深める必要がある。

(2) 避難者の分布と属性に関する課題

今回は人口を建物内に分布させて分析を行ったが、建物外にいる人（自動車や鉄道の利用者など）の避難について考慮する必要がある。水害が発生した場合は垂直避難が必要であるが、身体が不自由な人は垂直移動に時間を要する、または不可能になってしまうという問題も存在する。

(3) 避難ルートに関する課題

津波や高潮が発生した際にはそれ以前に、地震や強風が都市を襲っていると考えられ、家の倒壊や道路そのものの破損といった理由で避難ルートが寸断されてしまうといったことが起きる可能性が高い。そのため、木造建物が密集する狭い道路の場合には、災害時の通行確率を考え、避難ルートの対象から外して分析を行う必要がある。

また、避難時間に関するシミュレーションを行った上で、できるだけ総避難時間を最小化する、もしくは避難時間の最大値を小さくする施策について検討を深める必要がある。

(4) ハザードマップ、防災計画への適用への模索

現在、ハザードマップは様々な水害を想定したものが公表されている。これに加え、3Dデータを用いた防災計画がハザードマップなどに適用されると情報が高度化するとともにより複雑なものになってしまう可能性がある。情報の複雑化が避難行動へ混乱を招く危険性もあり、映像での避難シミュレーションを行うなど、住民にわかりやすい情報提供を模索していく必要がある。それが、住民の避難意識の向上や街の減災上の欠点などがより分かりやすい形で伝わるなどの大きな利点が得られると考える

(5) 3Dデータとリンクさせたより高度な浸水シミュレーションへの模索

3D-PLATEUの浸水深のデータは複数地点で大阪府が公表している水防法に基づいた水害ハザードマップと浸水深の範囲に入っているため、ハザードマップと全く異なるデータである可能性は低い。しかしながら、水害が発生した際の浸水深を時系列で知るためには、道路の配置や幅員、建物の正確な形状、排水機能、地形などのデータを含めた浸水シミュレーションを行う必要があるが、今回分析に用いた最大浸水深はPLATEUのデータに付加されていたものをそのまま用いており、浸水シミュレーションがどのような条件で行われ結果を得たかの詳細は不明であった。

そこで、3Dデータとリンクさせたより高度な浸水シミュレーションが構築できれば、浸水深を時系列で知ることができ、さらに動画やシミュレーション映像で示すことができれば、より効果的な垂直水平避難への誘導へとつながることが期待できる。

7. その他

【謝辞】

当報告書は、一般社団法人近畿建設協会の 2023 年度研究助成をもとに作成を行いました。これにより学会での論文発表ならびに質疑応答の機会を得ることができ、本研究に深みを増すことができたことを、この場を借りて深く御礼申し上げます。また、共同研究者の大阪公立大学工業高等専門学校 総合工学システム学科 都市環境コース 特任教授 北村 幸定先生から貴重な意見・助言をうかがうことができました。さらに、卒業研究を通して、高田 大貴君、松山 傑君に多大な作業を行っていただきました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 国土交通省 3D-PLATEAU HP : <https://www.mlit.go.jp/plateau/> (2023/12/28 閲覧)
- 2) なぜ PLATEAU はオシャレなの、コストは?! 中の人にいろいろ聞いてみた
<https://ken-it.world/it/2021/03/why-plateau-is-so-fashionable.html> (2024/01/26 閲覧)
- 3) 大阪市此花区 HP : 此花区内の津波避難ビル指定状況
<https://www.city.osaka.lg.jp/konohana/page/0000170143.html>
- 4) 総務省 HP : 大阪市 平成 27 年国勢調査 大阪市町丁目別昼間人口
<https://www.city.osaka.lg.jp/toshikeikaku/page/0000430820.html>

【添付論文】

- 1) 白柳博章・北村幸定:大阪市此花区における南海トラフ地震の津波浸水想定に対する垂直・水平3D避難シミュレーションと一時避難場所の創出, 日本地域学会 第60回年次大会, 2023.10
- 2) Hiroaki SHIRAYANAGI & Yukisada KITAMURA : Estimation of rooftop evacuation capacity for constructing a vertical–horizontal 3D evacuation simulation against tsunamis and storm surges, 63th ERSA, 2024.08 (abstract is accepted)