UNIVERSITY OF YAMANASHI

シミュレーションソフトウェアを用いた乳幼児頭部外傷状況のコンピュータ画像上解析

伊藤安海*, 土屋雅祥*, 西村風冴*, 山田隆一*, 野中卓志*, 鍵山善之*, 根本哲也*
秋葉教充**,原間利之***, 田代弦****

*山梨大学, **科学警察研究所, ***静岡県警察本部刑事部科学捜査研究所
****静岡県立こども病院

E-mail：g24tm018@yamanashi.ac.jp, yasumii@yamanashi.ac.jp

背景・目的

研究背景

● **児童虐待における背景**

・虐待相談対応件数[1]や虐待検挙件数[2]は高い値で推移している

・子どもは虐待を受けたとしても自ら証言することが困難である

→児童虐待の対策は急務であり、虐待調査には受傷状況から虐待の状況を推定することが求められている

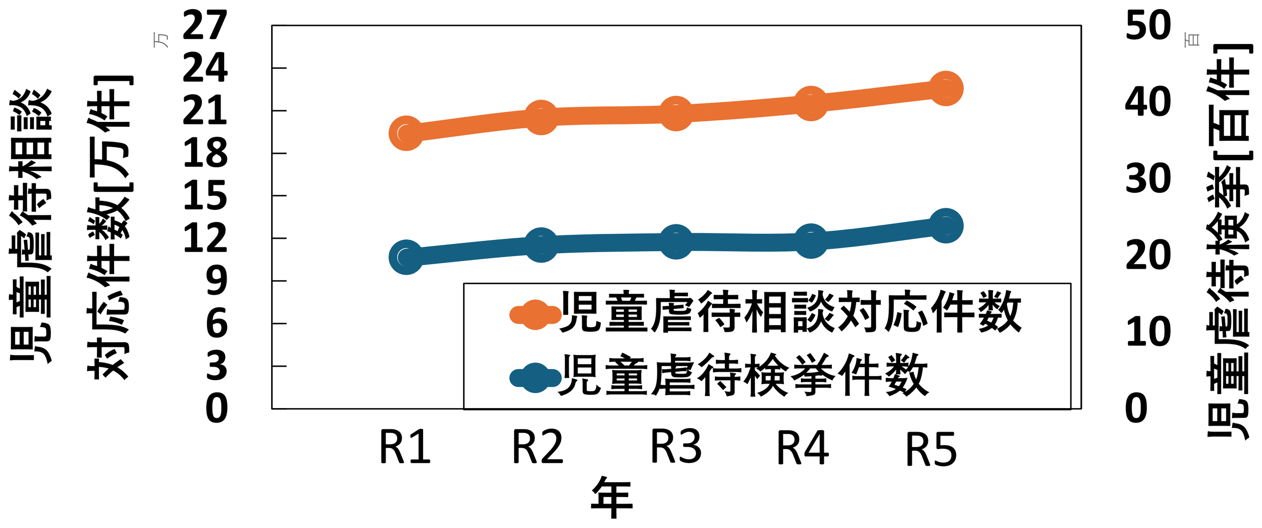

図1　虐待相談対応件数と虐待検挙件数の推移[1][2]

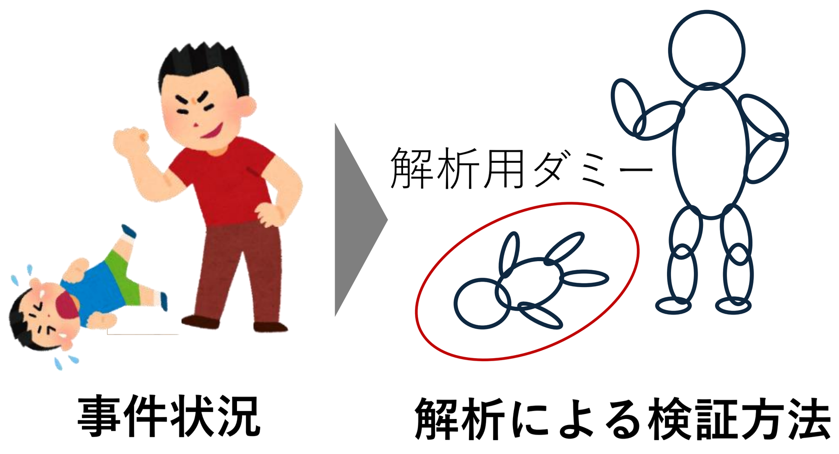

図2　事件状況を解析で再現

● **虐待調査における背景**

・虐待を早期に発見することで再発防止や行政の介入に繋がる

・虐待調査は医学診断や行動診断があるが、定性的なものであり調査に時間がかかる

迅速で定量的な判断が可能なシミュレーションを用いて虐待状況を再現し、検証を行う

研究目的

外傷例データおよび**シミュレーションソフト**を用いて外傷状況を再現の後に外傷と解析結果を照合し、データ上ではわからない挙動等の外傷機序をシミュレーション画像上で解析し、推定する

研究手法

〈①解析対象の選定〉

外傷例データの中から解析対象となるデータを選ぶ

〈②解析の実施〉

症例に沿ったシミュレーションを構築

●**外傷例データと解析結果を照合し、データ上ではわからない挙動等を推定**

● **外傷例データ**：頭部全症例データ(静岡県立こども病院)(2007年～2022年)を用いた

● **シミュレーションソフト**：マルチボディダイナミクス解析ソフトウェア**MADYMO**を用いた

解析結果および考察

抱っこから転落の症例における解析結果と挙動の推定への検討

・症例より骨折の発生に関連するHICのみが閾値を超えている条件

・左後頭骨に衝突している条件

→これらに当てはまる条件を以下に示す

表5　抱っこから転落の症例だと推測される条件の解析結果

左に回転した角度[rad]	加える角速度[rad/s]	HIC	角速度変化幅[rad/s]	Nij	BrIC	AIS2レベル損傷の発生確率
0.1	0.6	631	19.2	0.45	0.44	33.6%
0.1	0.7	823	20.2	0.91	0.41	28.5%
0.2	0.5	524	17.1	0.33	0.46	38.6%

図4　左方向に0.2rad回転させ、0.5rad/s後方へ加えた際の挙動と衝突時画像

・症例データでは脳震盪も生じていた

・BrICとAISの関係式[8]により脳震盪の発生確率を調査したところ表5の3番目の脳震盪発生確率が最も高かった

→ 表5の3番目の条件が今回の症例の挙動であると検討した

$$P(AIS2) = 1 - e^{-\left(\frac{BrIC}{0.602}\right)^{2.84}}$$

※今回の脳震盪はAISレベル2であると推測[7][9]

初期姿勢, 加える角速度とNijの関係についての考察

●加える角速度が小さい場合、頭部が肩や腕と同時に衝突する挙動
→Nijは低くなる傾向

●加える角速度が大きい場合と身体が横を向く姿勢の場合、頭部から衝突する挙動 → **Nijは高くなる傾向**

この2点より**衝突時の姿勢が首の損傷の発生に関わる**と示唆

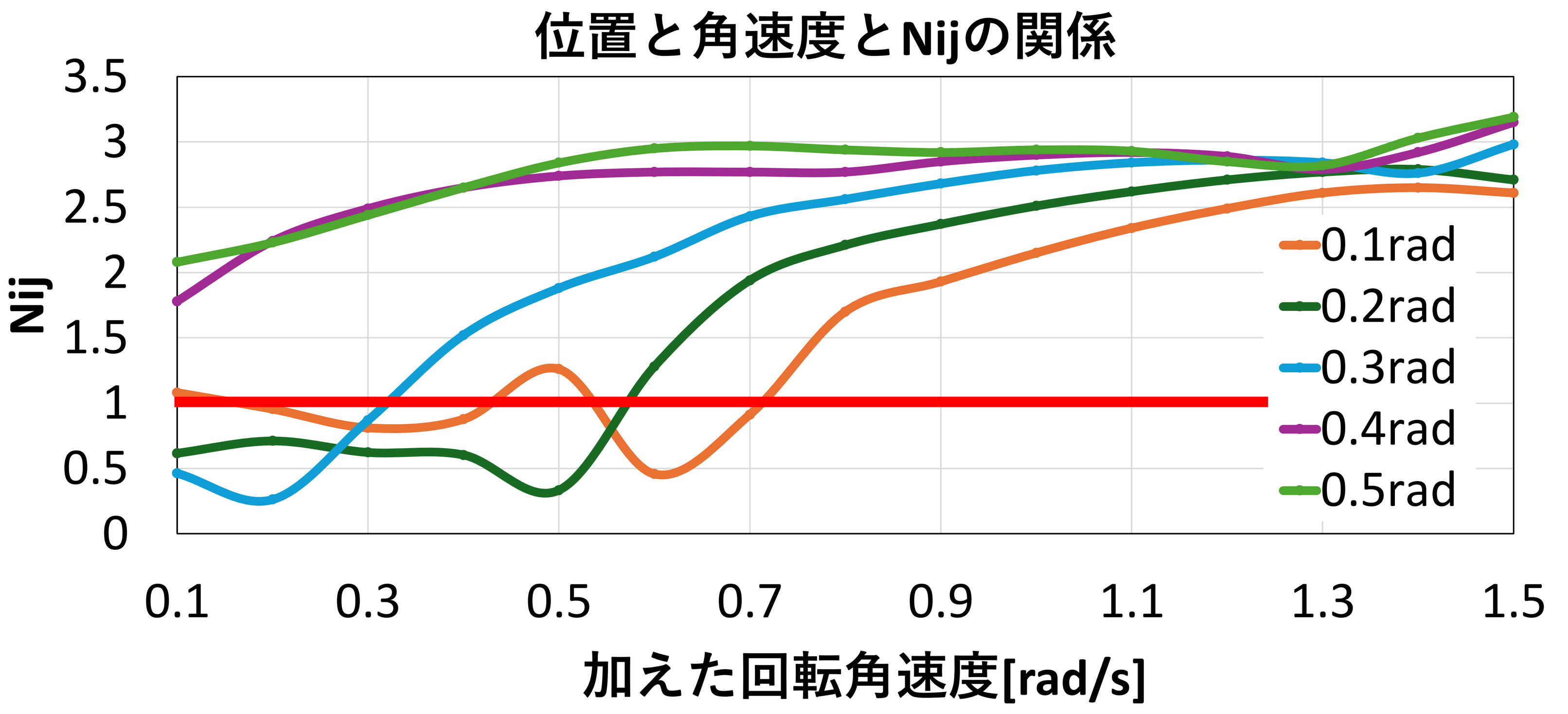

図5　初期姿勢，加える角速度とNijの関係

① 解析対象の選定

・外傷例データでは「人からの転落」と考えられる症例が低年齢層で多く見られた　→　12か月以下の症例を解析対象とした

・以下のように①~③までが判明しているもの

① 落下高さ
② 床の材質
③ 子どもの身長･体重

→ 解析を行うにあたり、3つの条件が判明しているものについて解析を行う

④ 転落の挙動 → 解析を実施し、挙動を推定

抱っこから転落の症例

表1　抱っこから転落の症例の概要

高さ	子どもの年齢	身長[m]/体重[kg]	衝突場所
1m	11か月	0.67/7.51	塩ビ床

【転落の様子】
父が抱っこしている時に本児が暴れてバランスを崩し、後頭部から転落
父の腕から、約100cm落下
【外傷状況】左後頭骨骨折、脳震盪

おんぶから転落の症例

表2　おんぶから転落の症例の概要

高さ	子どもの年齢	身長[m]/体重[kg]	衝突場所
不明	6か月	0.68/7.4	ドアのレール

【転落の様子】
母がおんぶしようとした際に仰向けに転落し、ドアのレールで頭を打った
【外傷状況】
右頭頂側頭部の線状骨折、右頭頂骨と右側頭骨の乖離、急性硬膜外血腫

②上記の2症例をもとにシミュレーションを構築

●本研究ではCRABI-12MOモデルを使用した

●上記の症例の【転落の様子】【外傷状況】から以下のように推定
・左後頭部や右頭頂部~右側頭部に衝突した挙動であると推定
・おんぶから転落の症例は立位でおんぶしたと仮定して落下高さを1.1m~1.2mと設定[2

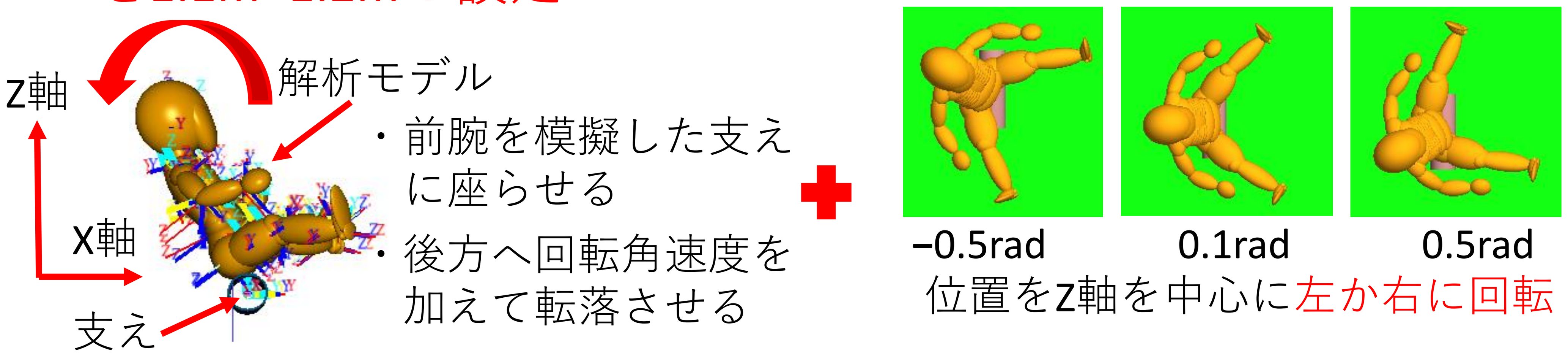

図3　シミュレーションの条件を示した図

● 測定する傷害値

①HIC・・・頭部への衝撃の程度を表す傷害値、**1歳児の閾値は390**[4

②**頭部角速度変化幅**・・・頭部を衝撃した瞬間に起きる方向転換の幅を表す、**閾値は40rad/s**[5

③**Nij**・・・前突時の頸部損傷を評価する傷害値、**閾値は1.0**[6

④**BrIC**・・・回転運動に基づく脳損傷基準値、**閾値は1.0**[7

表3　抱っこから転落の症例のシミュレーション条件

条件名	詳しい条件	条件数
落下高さ	床から解析ダミーモデルの重心まで1m	1
後方へ加える角速度	0.1~1.5rad/sまで0.1rad/sずつ加える	15
左に回転する角度	0.1~0.5radまで0.1radずつ回転させる	5

表4　おんぶから転落の症例のシミュレーション条件

条件名	詳しい条件	条件数
落下高さ	1.1m~1.2mまで0.01mずつ高くする	11
後方へ加える角速度	0.1~0.5rad/sまで0.1rad/sずつ加える	5
右に回転する角度	−0.1~−0. 5radまで−0.1radずつ回転	5

おんぶから転落の症例における解析結果と挙動の推定への検討

・症例より骨折の発生に関連するHICのみが閾値を超えている条件
・右頭頂部から右側頭部に衝突している条件
→これらに当てはまる条件を表5の上から1~5番目に示す

表6　おんぶから転落の症例だと推測される条件の解析結果

落下高さ[m]	右に回転した角度[rad]	加える角速度[rad/s]	HIC	角速度変化幅[rad/s]	Nij	BrIC
1.19	−0.3	0.1	409	12.9	0.48	0.45
1.2	−0.3	0.1	434	12.5	0.54	0.45
1.1	−0.3	0.2	445	14.4	0.78	0.48
1.11	−0.3	0.2	471	14.6	0.86	0.49
1.12	−0.3	0.2	496	14.7	0.95	0.49
1.07	−0.3	0.2	369	16.2	0.54	0.47

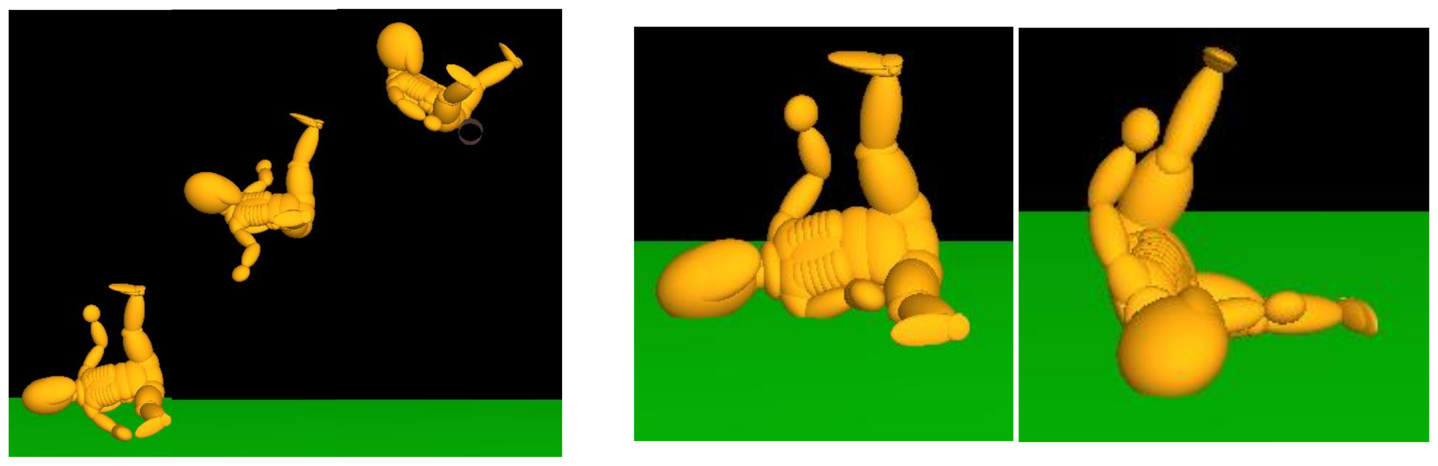

図6　高さ1.2m、右方向に0.3rad回転させ0.1rad/s後方へ加えた挙動と衝突時画像

● **表6の上から1~5番目の条件が今回の症例の挙動であると検討した**

● 落下高さについての考察
・右方向に0.3rad回転させて後方に0.1rad/s加えた条件
→1.18m以下ではHICが閾値である390を下回った
・右方向に0.3rad回転させて後方に0.2rad/s加えた条件
→1.07m以下ではHICが閾値である390を下回った
結果よりおんぶから転落した症例と類似する場合では1.07m以下では頭蓋骨骨折の可能性が低いことが示唆された

まとめ･今後の展望

まとめ

●外傷例データとシミュレーションソフトを用いてデータ上ではわからない挙動等をコンピュータ画像上で推定することができた

●頭部から衝突する挙動では頭部への損傷の可能性が示唆
→「背中から床に衝突した」供述がされた際に頭部の損傷がみられた場合、故意に姿勢を変えて転落させた可能性が示唆される

●おんぶから転落した症例は落下高さを変えた時のHICを調査することで1.07m以下では頭蓋骨骨折の可能性が低くなることが示唆
→ 今回のような症例で1.07m以下の落下高さで頭蓋骨骨折がみられた場合、 故意に投げおろされた等の可能性が示唆される

今後の展望

● 今回は2症例のみの検証であるため、他の類似する挙動の症例においても似たような結果が得られるか検証する必要がある

参考文献

(1)警察庁,令和6年の犯罪情勢, (2025), 2025/8/20参照
(2)こども家庭庁, 令和 5 年度 児童相談所における児童虐待相談対応件数, (2025), 2025/8/20参照
(3)河内まき子・持丸正明, 2006：AIST/HQL人体寸法・形状データベース2003, 産業技術総合研究所 H18PRO-503
(4) Eppinger, R., Sun, E., Bandak, F., Haffner, M., Khaewpong, N., Maltese, Matt., Kuppa, S., Nguyen, T., Takhounts, E., Tannous, R., Zhang, A. and Saul R., Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint Systems-II, (1999), pp.ES-1-4
(5)相場一希, 大宮正毅, 射手矢岬, 紙谷武, 戸松泰介, 柔道における後頭衝突時の急性硬膜下血腫発生評価指標の比較と頭部保護具の効果, 日本機械学会論文集(A編), 78巻, 796号, (2012), pp.1631-1641
(6)水野幸治. 自動車の衝突安全. 名古屋大学出版会, 2012, pp.23-24
(7) Erik G. Takhounts, Matthew J. Craig, Kevin Moorhouse, Joe McFadden, Development of Brain Injury Criteria (BrIC),Stapp Car Crash Journal, Vol. 57, (2013) ,pp. 243-266
(8)金原秀行, 岩本正実, アメフト頭部衝撃データを用いた脳傷害評価指標の妥当性と有用性の検討, バイオメカニズム, 22巻, (2014), pp189-199
(9) THE COCHRAN FIRM NEW ORLEANS, The Abbreviated Injury Scale, 2025/8/20参照