

身体地図情報システムと生体衝撃シミュレータとの統合による 事故状況尤度の導出

Calculation of Accident Situation Likelihood by Integrating Bodygraphic Injury Surveillance System and Biomechanical Impact Simulator

小泉 喜典*1*2
Yoshinori Koizumi

西田 佳史*2*3
Yoshifumi Nishida

本村 陽一*2*3
Yoichi Motomura

宮崎 祐介*4
Yusuke Miyazaki

溝口 博*1*2
Hiroshi Mizoguchi

*1東京理科大学

Tokyo University of Science

*2産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

*3科学技術振興機構, CREST

Japan Science and Technology Agency, CREST

*4金沢大学

Kanazawa University

The reproduction technology of accident situation is indispensable to identify hazards, investigate causes, and develop preventive measures for serious child injuries. This paper describes a method for estimating accident situation by integrating the bodygraphic injury surveillance system and a biomechanical impact simulator. The proposed method allows us to estimate the most likely accident situation by synthesizing obtained data such as injury data, report of sighting, and sensor data on how a product is used. This paper also reports an example of the application of the proposed method to reproducing situation of an actually occurred accident.

1. 緒論

14歳以下の子どもの死亡原因の第1位は、不慮の事故であり、その予防策の確立が急務となっている[山中08]。子どもの不慮の事故に対する効果的な対策を考案し、実践するには、発生した事故情報を収集し、事故の原因を究明する必要がある。そこで筆者らは、傷害情報を含む事故の詳細な情報を継続的に収集するためのシステムである身体地図情報システム[坪井08]の構築を進めてきた。また、このシステムを実際の病院で運用し、事故情報の収集および分析を開始しており、これまでに蓄積されたデータに基づいて、身体空間統計や事故における製品と月齢の関係、受傷面積の極値統計といった傷害統計分析が可能になっている。しかしながら、これらの統計データが直接、事故対策法にまで結びつくケースは稀である。事故事例から事故の原因を究明し、事故対策法を開発するには、事故状況の再現技術が不可欠である。

一般に、事故状況の情報には、目撃者が乳幼児であるなどの理由から欠損情報が多いため、事故状況再現を行う際、超高自由度空間における探索問題を扱う必要が生じる。これを解決するには、得られる情報をうまく融合することで、効率よく事故状況を再現する技術が不可欠である。

本稿では、センサを用いて実測した遊具や日常製品の典型的な使用データ、病院において収集された事故傷害データ、生体衝撃シミュレーション技術を融合し、事故状況尤度を計算する方法を述べる。

2. 身体地図情報システムと 生体衝撃シミュレータの概要

2.1 身体地図情報システムの概要

身体地図情報システムとは、子どもの事故予防を目的として、傷害情報を含む事故の詳細な情報を継続的に収集するため

のシステムであり、筆者らの研究室で独自に開発したものである。身体空間座標上で傷害情報を記述することで、傷害情報を正規化・構造化して記録できる点に特徴がある。システムは病院において運用され、収集された傷害データは実際に不慮の事故により怪我をした子ども達のものである。記録される傷害データは、性別・年齢・発達段階・身長・体重・利き手など事故に遭った子どもの特徴と、事故の発生した日時・場所・事故に関係した製品・事故の種類・事故が起きる直前にしていた行動など最大26項目のテキストデータに加え、傷害の位置や形状といった情報を、計算機上で表示された3次元人体モデル上にマウス等でペイントすることで入力されるラスタデータから成る(図1参照)。

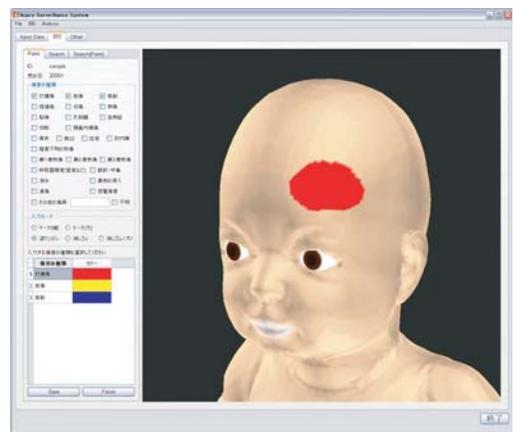


図1: 傷害情報のペイント入力

2.2 生体衝撃シミュレータの概要

事故状況の再現技術として、全身のマルチボディモデルと頭部の有限要素モデルを用いて、高速に転倒・転落および頭部傷害のシミュレーションを行う手法が提案されている[宮崎08]。この方法では、転倒・転落事故状況の直前情報までを計算時間や姿勢変更の容易さに優位性を持つ全身のマルチ

連絡先: 小泉 喜典, 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター, 〒135-0064 東京都江東区青海 2-41-6, Tel:03-3599-8201, y.koizumi@aist.go.jp

ボディモデルを用いて事故状況の推定及び転倒・転落挙動の解析を行い、そこから得られた姿勢や速度データを初期条件として頭部有限要素モデルを用いて頭部傷害のシミュレーションを行う。

本研究では、この方法を採用し、物性を剛体とした全身ダミーモデルを用いることで衝突直前条件解析を高速に行い、得られた姿勢や速度データなどの衝突直前情報をもとに、頭部有限要素モデルを用いた頭部傷害解析を行う(図2参照)。

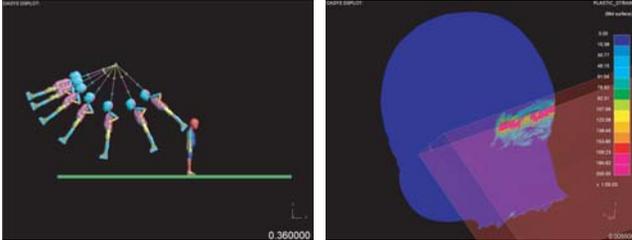


図 2: 生体衝撃シミュレータ

3. 遊具や製品の典型的使われ方データの収集

身体地図情報システムで収集される事故情報は、聞き取り調査や診察によるもので、事故に遭った子どもの特徴や事故の起きた場所やモノについての情報、傷害情報であり、事故状況再現に必要な初期姿勢や速度、位置といった情報は試行錯誤的に探索する必要がある。しかし、同じような事故が繰り返されるという現状を見ると、特別な行動をとった子どもが事故に遭うのではなく、遊具や製品の典型的な使い方から事故が生じると考えられる。現在、子どもの事故予防において、急務となっている事故は、繰り返されることの多い事故であり、この種の事故では、遊具や製品の典型的な使われ方データを収集することで、子どもの姿勢や速度、位置といった変数の探索範囲を限定できる可能性がある。

そこで本研究では、実際に公園等の遊具で遊ぶ子どもの行動観察を通して、遊具や製品の典型的な使われ方データの収集を行う。行動観察にはディケイエイチ社の Frame-DIAS4 を用いる。Frame-DIAS4 はビデオカメラで撮影した映像から 2 次元または、3 次元の動作解析を行うソフトウェアである(図 3 参照)。

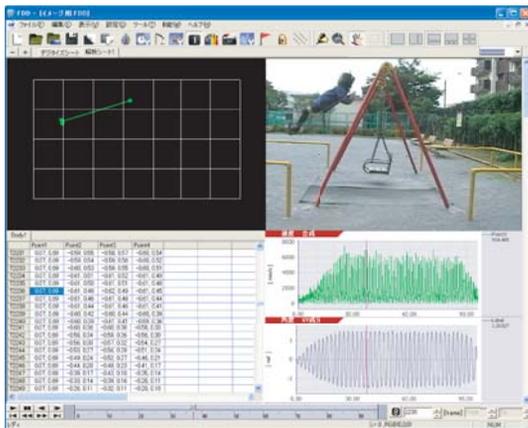


図 3: 遊具の典型的な使われ方データの収集

4. 身体地図情報システムと生体衝撃シミュレータとの統合

4.1 統合システムの構成

図 4 は身体地図情報システムと生体衝撃シミュレータを統合したシステムの構成図である。本システムは、衝突直前条件解析、頭部傷害解析、事故状況検索から構成される。衝突直前条件解析では、身体地図情報システムにより収集された事故情報とセンサを用いて実測した遊具や製品の典型的な使われ方データを初期条件とし、衝突直前の相対位置や速度等、目撃証言からでは収集困難な条件をシミュレーションにより求める。

次に得られた衝突直前条件を初期条件とし、身体地図情報システムの 3 次元身体モデルをもとに作成した頭部有限要素モデルを用いた頭部傷害解析を行う。ここまでの衝突直前条件解析および頭部傷害解析を大量に行うことにより事故状況再現の候補群となるシミュレーション・データベースを作成する。

最後に身体地図情報システムに蓄積された実際に生じた事故による傷害データを用いて、これと類似度が高い傷害に至る事故状況を、シミュレーション・データベースから検索する。

4.2 衝突直前条件解析

衝突直前条件解析では、衝突直前までの事故状況をシミュレーションすると共に、頭部傷害解析の初期条件となる衝突直前の速度や姿勢などを求める。

まず、身体地図情報システムにより収集された事故情報をもとに事故に関係したモノ(遊具や製品など)のモデルを作成する。この環境モデルに全身ダミーモデルを加え、典型的な使われ方データに基づいた姿勢や速度といった初期条件を与え、シミュレーションを行い、衝突直前の速度や姿勢などを求める。

4.3 頭部傷害解析

衝突直前条件解析により得られた衝突直前情報をもとに頭部有限要素モデルを用いた傷害解析を行う。

本研究では、傷害解析の指標として傷害部位を用いることとし、モノと頭部の衝突において接触反力の生じた節点の位置、すなわち接触位置を傷害部位とする。そこで、解析時間中に接触反力の生じた節点 ID を出力し、この節点 ID データを身体地図情報システムのラスタデータの形式に変換を行い、シミュレーションで得られた接触位置を身体地図情報システム上で表現する。

また、この解析では、Head Injury Criterion (HIC) の算出も可能である。HIC とは欧州規格 EN 1177 や American Society for Testing and Materials International によって定められた F1292-04 に用いられている頭部傷害に関する指標であり、次式によって表される。

$$HIC = \left[\left\{ \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right\}^{2.5} (t_2 - t_1) \right]_{max} \quad (1)$$

t_1, t_2 ; HIC が最大になる間隔の開始時間と終了時間(単位は ms)

ただし、 $|t_2 - t_1| < 36$ [ms]

$a(t)$; 頭部重心合成加速度(単位は G)

両規格共に、遊具周辺の地表面材料の衝撃低減に関する最低限の要求事項と、衝撃低減性能の試験方法を示しており、衝撃低減性能への要求仕様として、HIC が 1000 を超えないことと定めている。これは HIC が 1000 未満であれば、頭部の怪

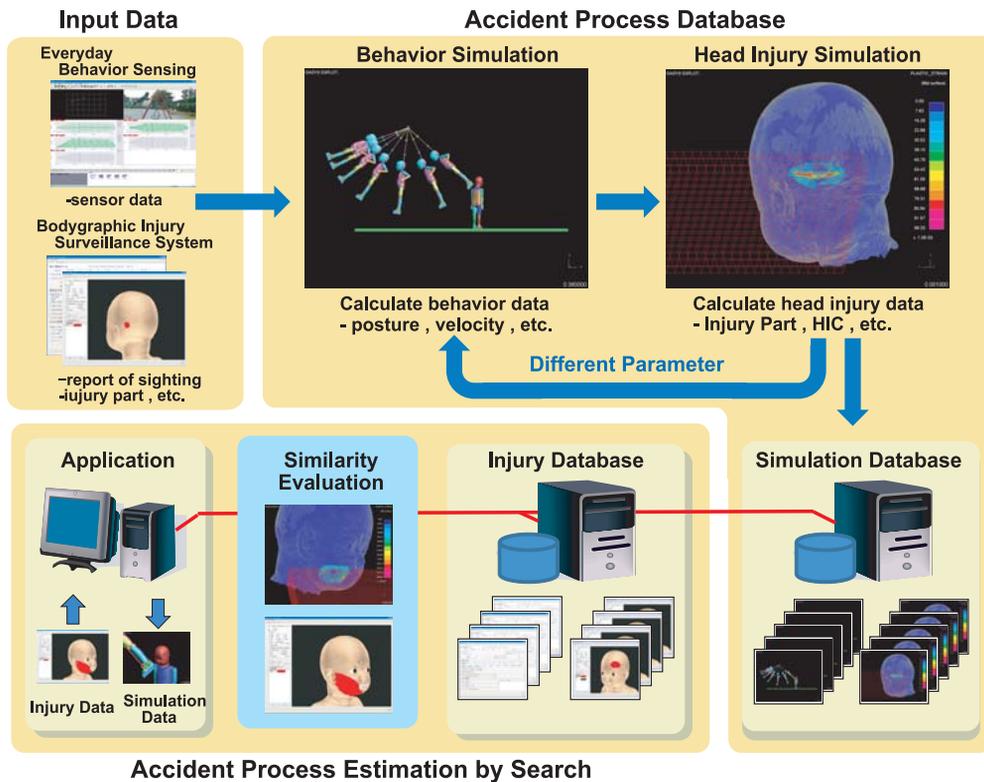


図 4: 統合システムの構成

我は致死的ではないとされているためである。

ここまでの衝突直前条件解析および頭部傷害解析を初期条件を変え、繰り返し行い、各結果をシミュレーション・データベースに保存する。

4.4 事故状況検索

頭部傷害解析によって得られた接触位置を身体地図情報システムに記録された実際の傷害部位と比較し、事故状況尤度の計算を行う。この事故状況尤度に基づき、事故状況の検索を行う。

身体地図情報システムに3次元身体モデル上の塗りつぶされた領域の重心を算出する機能を新たに追加することで、身体地図情報システムに蓄積された実際の傷害部位の重心だけでなく、シミュレーションによって得られた接触位置の重心も算出することが可能である。これは、前節で述べたように、シミュレーションによって得られた接触位置をラスタデータの形式に変換することで、身体地図情報システムの3次元身体モデル上での表現が可能になったためである。今回、事故状況尤度として、この重心間の距離を用いることとする。

5. 遊具事故への適用事例

5.1 シミュレーションを行う事故事例

本研究で事故状況推定を行った事故事例について以下に述べる。事故に遭った子どものデータは以下のとおりである。年齢 4 歳 9 ヶ月の男児。身長:不明 (標準を仮定), 体重:16kg。公園で他児のブランコの後ろを横切ろうとし、戻ってきたブランコ (木製) が頭にあたり、土の地面に転倒。母は転倒したところから目撃。左後頭部を打撲。

5.2 ブランコの使われ方データの収集

前節で述べたように、今回、状況の推定を行う事故はブランコのシート部分と頭部の衝突事故であり、その物理的な分析にはブランコのシート部分の速度情報が必要となる。そこで、カメラを用いたブランコの使われ方データの計測を行い、シート部分の速度に関する実データを収集した。

本計測では、実際の公園に設置されている一般的なブランコを使用し、このブランコで遊ぶ子どもの行動をビデオカメラで撮影した。撮影に使用したビデオカメラは、ブランコの運動を2次元と仮定するため、ブランコの真横に設置した1台のみである。被験者は6歳女児1名で、特別な指示や要求はせず、普段通り自由に遊んでもらった。撮影したビデオ映像をFrame-DIAS4に取り込み、時間とシート部分の位置、速度の関係を動作解析により求めた。

5.3 シミュレーション結果

今回は収集したブランコの使われ方データの中で最高速度の出た周期のデータを拘束条件とし、被害者の位置と向き異なる12通りの初期条件のもとで衝突直前条件解析を行い、各条件における衝突直前条件を初期条件として頭部傷害解析を行った。

図5に今回行った12通りのシミュレーションの重心間距離の結果を示す。ここで「条件(7)」の重心間距離が0になっているが、これは「条件(7)」ではブランコは頭部と衝突せず、右肩と接触したため、頭部傷害解析を行っていないことによる。

身体地図情報システムに蓄積された実際の傷害部位に最も重心間距離が近かったのは、「条件(10)」で24.76mmであった。このときの実際の傷害部位(赤)と「条件(10)」でシミュレーションを行った際の接触位置(青)を同時に表示した3次元身体モデルを図6に示す。また、図7に「条件(10)」の事故状

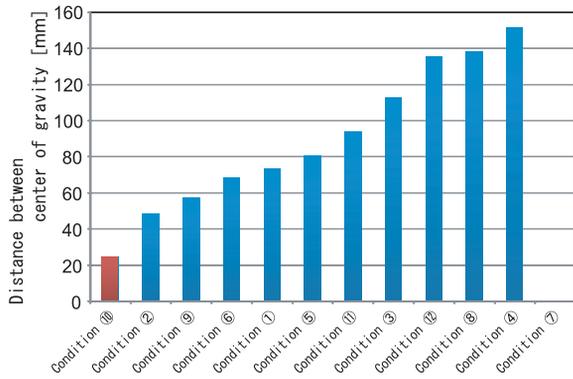
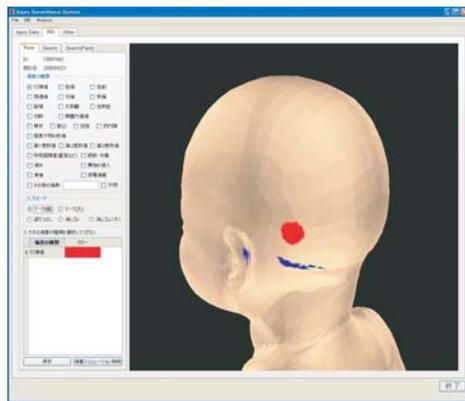


図 5: 重心間距離の結果



Red: Injury part accumulated
in Bodygraphic Injury Surveillance System
Blue: Contact position requested by simulation

図 6: シミュレーションの接触位置と実際の傷害部位

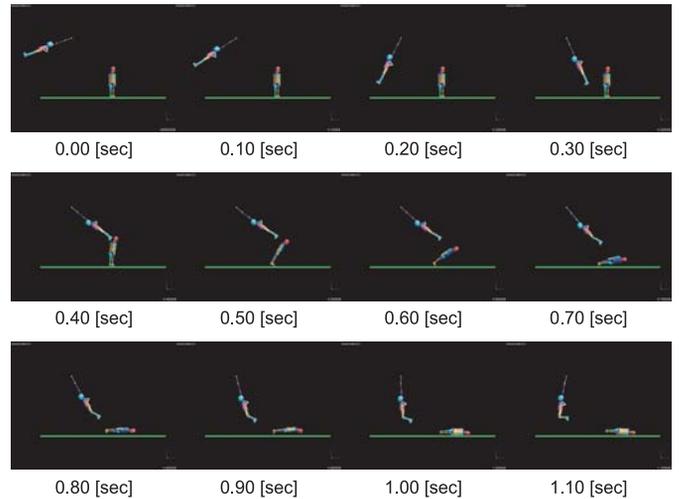


図 7: 重心間距離最小の事故状況再現

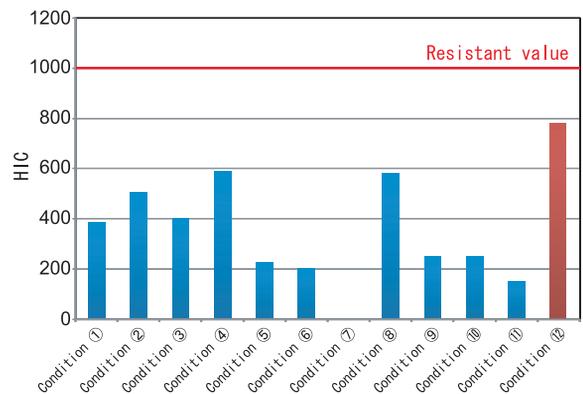


図 8: HIC

況再現データを示す。

本システムでは、傷害の重篤さの指標として HIC の出力も可能である。図 8 に今回行った 12 通りの解析により得られた HIC を示す。ここで、「条件 (7)」の HIC が 0 を示しているのは、図 5 の重心間距離と同様、頭部傷害解析を行っていないことによる。

HIC が 1000 を超えると頭部の怪我は致死的であるとされている。重心間距離最少の「条件 (10)」の HIC は 249 であり、耐性値 1000 を大幅に下回る。身体地図情報システムに蓄積された傷害データでは、軽度の打撲ということなので、「条件 (10)」の結果は事故状況再現の候補として妥当であると考えられる。また、図 8 の「条件 (12)」を見ると、今回の探索範囲での HIC 指標の最大値が 780 であることが分かる。耐性値 1000 を下回っており、致死的ではないものの重篤な傷害を負う可能性があることが分かる。このようにシミュレーション・データベースを作成することによってワーストケース分析が可能であり、事故事例を一般化する上で有用である。

6. 結論

本稿では、身体地図情報システムと生体衝撃シミュレータの統合により、子どもの事故予防を目的とした事故状況の推定を効率よく行う技術の取り組みの一環として、センサを用いて実測した遊具や日常製品の典型的な使用データ、病院において

収集された事故傷害データ、生体衝撃シミュレーション技術を融合し、事故状況尤度を計算する方法を述べた。今後、日常の使い方データ計測のためのセンサ開発を進め、膨大なデータ収集に対応し、これにより得られた日常の使い方確率分布、身体地図情報システムによる遊具事故傷害の身体空間確率分布から相互の関連性・相関を統計的に裏付けてシミュレーションに反映させる計画である。

参考文献

- [山中 08] 山中龍宏, "傷害予防につながる情報収集へのアプローチ," 小児保健研究, Vol. 67, No. 2, pp. 177-190, (2008).
- [坪井 08] 坪井利樹, 西田佳史, 持丸正明, 河内まき子, 山中龍宏, 溝口博, "身体地図情報システム", 日本知能情報フレンジイ学会誌, Vol. 20, No. 2, pp. 155-163, (2008).
- [宮崎 08] 宮崎祐介, 西田佳史, 山中龍宏, 持丸正明, 河内まき子, "安全知識構築のための転落事故再現シミュレーション," 第 26 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 3G1-06(1)-(4), September 11 2008 (神戸大).