

## シンポジウム 4

予防につながる傷害予防活動  
—発生数, 重症度を計測する—

事故・傷害情報を対策法へと加工する  
工学的アプローチ

西田 佳史 (産業技術総合研究所)  
山中 龍宏 (緑園こどもクリニック)  
宮崎 祐介 (金沢大学)  
本村 陽一 (産業技術総合研究所)

## I. はじめに

事故による傷害を予防するためには, 病院で事故状況や傷害の情報を収集するだけでは不十分である。収集されたデータを適切な人に適切な形に加工して伝達してはじめて, 実際の予防に活かすことが可能となる。しかし, 日本と比較すると, データ量において大きく先行している傷害サーベイランスシステムを持つ諸外国ですら, 最近になって「Data to Action (データから対策実施へ)」という目標を掲げなければならなかったように, 予防につなげるための傷害データの加工は意外と難しい。

本稿では, まずはじめに, 遊具からの転落による頭蓋骨骨折の事故事例を取り上げ, 病院で受け取られた傷害や事故データを具体的な対策法に結びつけるための工学的なアプローチを紹介する。ここで紹介するケーススタディは, 横浜市と被災者の協力のもと進められたものである。次に, この事例を振り返り, 病院で収集された傷害や事故の情報を, 対策法へと加工するまでのアプローチや事故予防に必要な考え方を整理する。なお, 本稿で紹介する原因究明は, 平成19年度 経済産業省安全知識循環型社会構築事業の一環として取り組まれたものである。

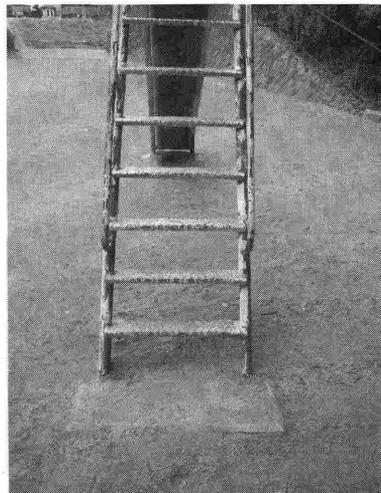


図1 転落による頭部傷害が発生した滑り台 (滑り台全景と階段部分の拡大)

産業技術総合研究所 臨海副都心センター本館 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 : 03-3599-8318 Fax : 03-5530-2066

## II. 遊具転落事故の事例研究

### ～事故・傷害情報を対策法へと加工する工学～

2007年10月1歳11か月の女兒が図1に示す滑り台の階段部分から転落し、階段の下にあったコンクリートと衝突し、右側頭蓋骨の骨折と硬膜外血腫に至った。脳外科に4日間入院したのち退院し、現在、後遺症はない。幸い被災者の家族と公園管理を行う自治体の協力が得られることになり、原因究明と対策法の検討を行った。ここでは、この滑り台からの転落事故を例題に、傷害データを加工し、対策法へと加工するまでの工学的なアプローチを紹介したい。

#### 1. 現場での聞き取り調査と環境データの計測

事故の原因究明のための第一のステップは、事故を再現することである。ここでの事故の再現とは、事故発生前の状況から事故・傷害発生までのプロセスを再現することである。通常、病院での傷害サーベイランスで集められるデータから、傷害を負った子どもの情報(今回のケースでは、1歳11か月・女兒・体重10kg・身長81.6cm)、原因となった製品の種類、傷害の診断情報・治療情報(今回のケースでは、頭部のレントゲン)などが得られるが、これらの情報だけでは事故を再現できないことが多い。そのような場合、再現のために足りない情報を得るために、実際に現場に行き、環境のデータ(形状や材質のデータ)を計測する作業や、被災者や保護者から事故発生前後の状況の詳しい情報を直接聞き取る作業が必要となる。

今回の事例では、公園に行き、3次元レーザスキャナーと呼ばれる計測機器を使って滑り台の形状データを計測した。公園遊具の場合、設置されてから長い期間が過ぎ、その間に何らかの修繕がされていたりして、現存する遊具そのものの3次元データが図面などで入手困難な場合がある。そのような時、3次元レーザスキャナーを使えば、形状データを1mm程度の精度で手早く計測することが可能であり、現場の電子的な記録や保存に利用可能になっている。図2は3次元レーザスキャナーで計測された事故現場のデータである。図2は一見すると通常の写真のように見えるが、実際には(X, Y, Z)の3次元座標値を持つ大量の点群データから構成されており、滑り台の高さや階段の幅などの寸法を研究所において計算機上で「計測」することが可能である。

さらに、被災者の保護者の協力を得て、事故発生前後の状況の詳しい情報を聞き取った。得られた情報は以下のとおりである。

(事故発生前)

- ・階段3段目に立ち、左側手すりを両手保持していた。

(事故発生から直後)

- ・コンクリートの上に右側頭部が衝突し、バウンドした。

#### 2. コンピュータシミュレーションによる事故状況の再現

次のステップは、事故現場で行った聞き取り調査のデータ、環境データ、病院から得られた

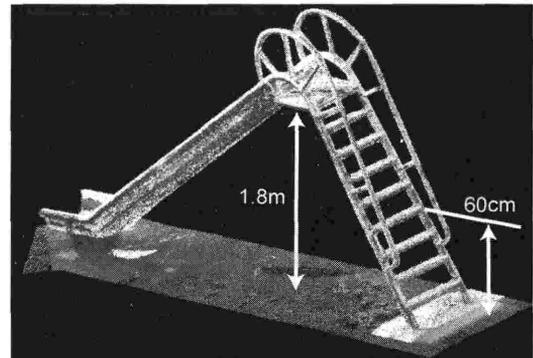
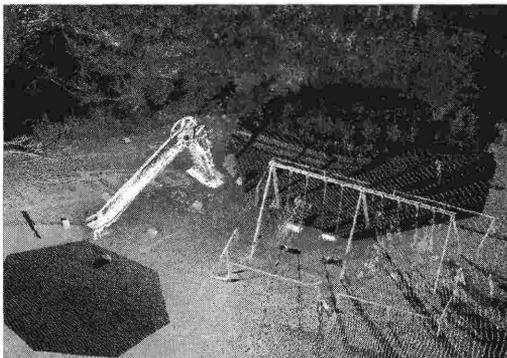


図2 3Dスキャナーで記録・保存された事故現場

子どもの身体や傷害データに基づいて、コンピュータシミュレーションを行うことで事故と傷害のプロセスを再現することである。一般に、いくら情報を集めても、事故そのものを計測しているわけではないため、不足情報がどうしても出てくる。生身の子どもの転落してもらうような実験は倫理上許されないので、計算機上で子どもと同じ形と重さを持つ仮想的な子どものモデルを作成し、これを用いてコンピュータシミュレーションする技術が不可欠となる。シミュレーションを行い欠けた情報を補完することで事故状況を再現する。

今回は、3次元レーザスキャナーのデータを用いて遊具の3次元形状モデルを作成した。子どもの体に関しては、全身を17個のパーツに分け、16個の関節で接合したマルチボディモデル

を作成した<sup>1)</sup>。特に、頭部に関しては、有限要素法と呼ばれる工学的手法を用いて、頭蓋骨や脳にかかる衝撃（応力）を詳しく計算するための有限要素モデルを作成した。

このような準備を行ったうえで、コンピュータシミュレーションによって、200パターン以上の落ち方をシミュレーションし、今回生じた頭部傷害の内容と聞き取り調査に合致する落下状況を再現する作業を行った。図3は、マルチボディモデルによる落下シミュレーションの様子を示している。また、図4は、頭部の有限要素モデルによる傷害シミュレーションの様子を示している。ここまでの作業で、事故状況の再現が可能となり、ようやく何が起きたのかが理解できる段階に至ったといえる。

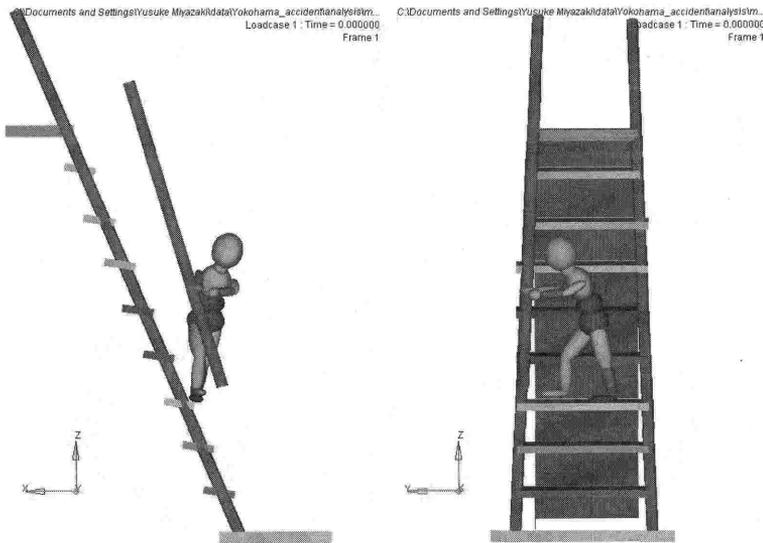


図3 マルチボディモデルによる落下シミュレーションの様子

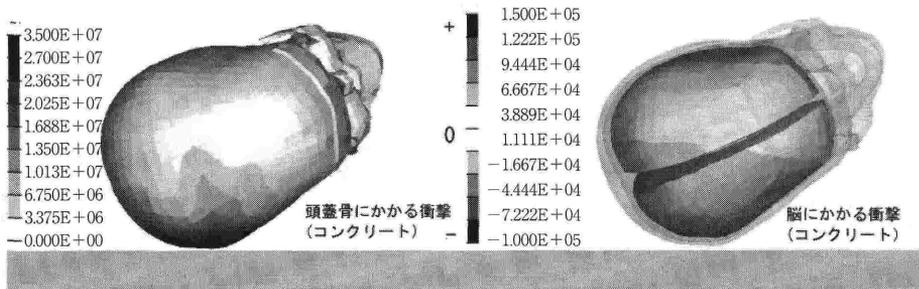


図4 頭部の有限要素モデルによる傷害シミュレーションの様子  
(右が頭蓋骨にかかる衝撃（応力）の大きさ、左が脳にかかる衝撃（圧力）の大きさ)

3. 操作可能な環境パラメータの考察と事故シミュレーションによる効果評価

次のステップは、予防法の開発である。そのためには、われわれが何を変化させられるのかを考察し、それを変化させたときの予防効果を評価する必要がある。今回のケースでは、頭蓋骨骨折に至った原因の1つは、接地面がコンクリートであり、これを他の材質に変更することで予防できそうである。そこで、コンクリートをゴムに変更した際の予防効果を検証した。この予防効果の検証にもシミュレーション技術が有用である。接地面をゴムに変え、さきほど事故の再現で明らかとなった落下と同じ状況で落下させてみた時に、頭部にかかる衝撃をシミュレーションで計算することが可能である。

図5は、同じ転落状況科下で、接地面がコン

クリートの場合とゴムの場合で比較したものである。図5中の左上の図の黒い部分は、骨折の危険がある部分を示している。また、図中左下の黒い部分は脳の損傷の危険が高い部分を示している。これに対し、ゴムの場合は、骨折の危険や脳の傷害の危険が減っていることが確認できる。図6は、ゴムに変更した場合の予防効果を評価するために、頭部にかかる衝撃を(a)頭蓋骨にかかる衝撃(応力)、(b)脳にかかる圧力、(c)頭部傷害基準(HIC)と呼ばれる頭部傷害の危険を判定する指標の3つの指標で比較したものである。図6で示された耐性値を超えると、骨折や傷害の危険が高いことを示している。この図で示すように頭蓋骨にかかる衝撃に関しては、94%低減可能であり、脳にかかる圧力も62%~72%低減されている。またHIC

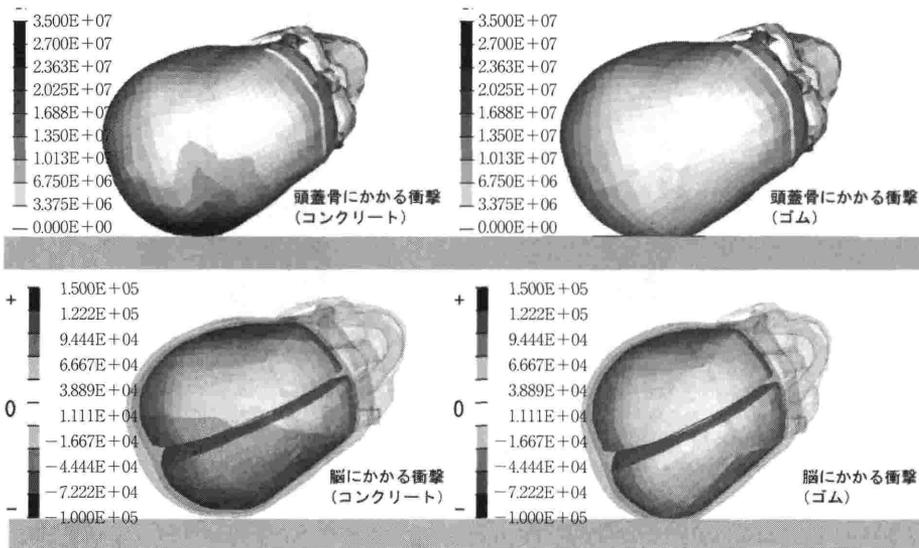


図5 コンクリートをゴムに変えた時の頭部にかかる衝撃のシミュレーションの様子

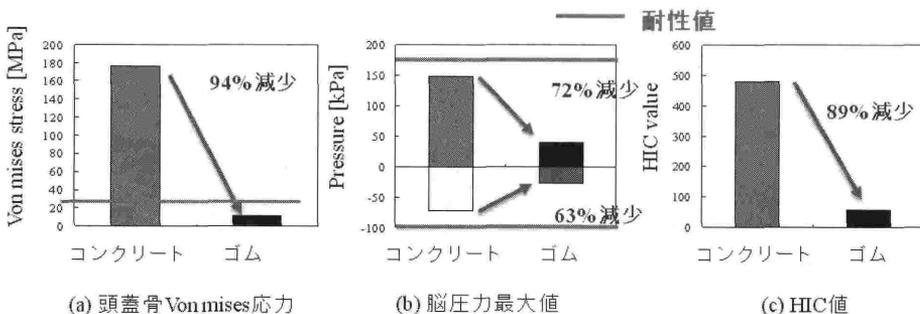


図6 コンクリートをゴムに変えた時の頭部にかかる衝撃の低減効果

という指標で見ても89%の低減効果が確認できる。コンクリートの接地面をゴムへ交換する作業は、その工事の規模にもよるが、比較的安いコストでの設置が可能である。今回の解析結果を公園管理者である横浜市に報告し、その後、この知見に基づいてゴムへ接地面を取り換える工事が行われた。その修繕費用は21万円であった。

4. 事故・傷害情報を事故予防のための対策につなげるプロセスの整理

図7は、ここまで述べてきた事故・傷害情報を対策法へと加工する工学的プロセスを整理した概念図である。プロセスは以下のとおりである。①医療機関におけるサーベイランスで傷害データと事故の状況データ（前後）を収集する。②現場で事故再現に必要な情報をセンサーや聞き取りによって収集する。③環境モデルと人体モデルを用いて、コンピュータシミュレーションで事故状況を再現する。④変更可能な環境パラメータを考察する。⑤変更可能な環境パラメータを変化させ、仮想的な事故をシミュレーションで起こし、その予防効果を評価する。

Ⅲ. 事故による傷害を予防する考え方と方法論

1. 傷害予防を実現する安全知識循環型社会

ここでは、事故による傷害の予防を実現するための社会のあるべき姿について考えてみたい。傷害予防の困難性は、第一に、われわれを取り巻く環境とそこで生じる行動の関係が複雑であり、われわれが考えつく範囲を容易に逸脱し、あらかじめ起こりうることを想定しつくすことが困難である点、第二に、事故を起こすという実験が倫理上許されないために再現実験による分析アプローチが適用できない点にある。それでは、どうすればよいか？ 不幸にして起こってしまった事故データを、人類共有の知恵として蓄え、その知恵を活かすことで、明日の担い手となる子どもが健やかに育つように、安全な製品のデザインへとフィードバックし続ける仕組みを作るアプローチが不可欠である。いわゆる、Plan → Do → Check → Action (PDCA サイクル) のループを社会の仕組みとしてどのようにデザインし、社会の中で実装していくのかを考える必要がある。

遊具による傷害データが事故対策の実施にまで至った今回の事例を振り返ると、まず、公

傷害情報を対策法へと加工する技術

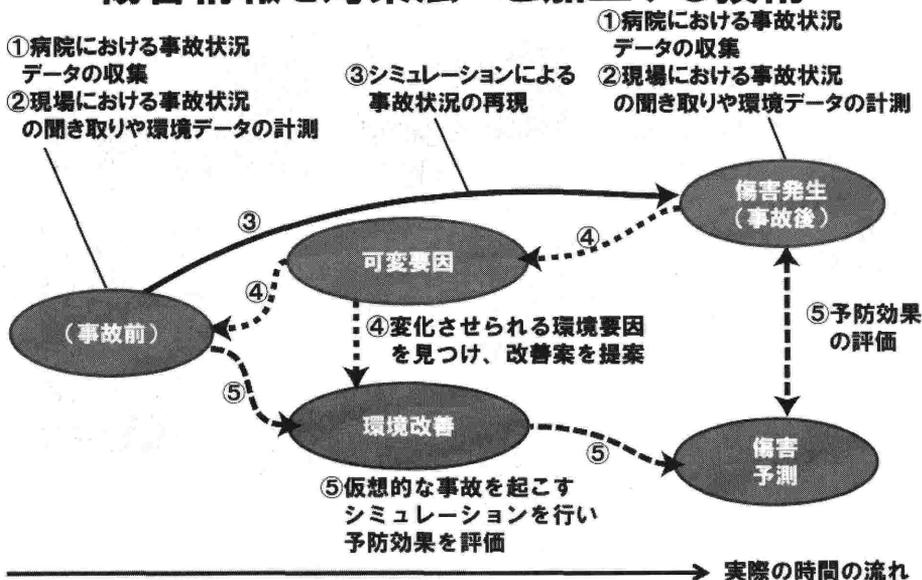


図7 事故・傷害情報を対策法へと加工する工学的プロセス

園内で事故が発生した。その後、病院で診断・治療を受け、4日間の入院の後に退院となった。通常のプロセスでは、治療が終わるとそれで終了してしまい、傷害の予防、すなわち、環境改善までは行われない。しかし、今回、横浜市の緑園こどもクリニックで継続的に運用されていた傷害サーベイランスによって遊具事故がキャッチされ、その後の現場検証、シミュレーションによる事故・傷害の再現分析と対策法の評価、自治体による予防対策の実施という一連の展開が可能になった。

このプロセスを一般化して考えると、子どもの傷害を予防するためには、図8に示すような仕組みが必要となる。すなわち、①事故情報を収集する⇒②事故事例を分析し知識化する⇒③知識を事故予防策として具現化する⇒④対策を着実に実施する⇒⑤対策効果を評価する、というループを確実に一貫できる社会システムを構築することが不可欠である。このような社会システムを安全知識循環型社会<sup>2)</sup>と呼んでいる。この図が示すように、そのためには、救急搬送、医療、事故原因を分析できる専門家、製造メーカー、自治体やメディア、行政や立法の機関が協力できる社会レベルのシステム化が不可欠である。産業技術総合研究所では、2006年に子どもの傷害予防工学カウンスル(CIPEC:代表

山中龍宏)という研究グループを設立し、安全知識循環型社会の実現に向けた活動を進めている。2007年には、安全知識循環型社会の実装を進める国のプロジェクトとして、経済産業省により、事故予防のための仕組みづくりプロジェクト(安全知識循環型社会構築事業)が開始され、現在、産業技術総合研究所、国立成育医療センター、キッズデザイン協議会などが中心となり、関係組織や現場と連携をとりながら、基礎技術の開発や人的ネットワーク作りが進められている。

「安全知識循環型社会」の実現に必要な課題を整理したい。大きく分けて3つに分類できる。①事故情報を集めたり、共有する技術(事故情報収集技術)、②事故情報を分析することで対策法を開発する技術(知識化技術)、③対策法を伝達したり広める技術(伝達技術)である。例えば、最近起こった事故事例を用いて説明すると、シュレッダーによる指切断事故の場合、アメリカの消費者製品安全委員会(CPSC)の資料<sup>3)</sup>によれば、これまで何人もの子どもが同様の事故で指を切断し、欠損していることがわかっている。日本では、病院で事故情報を蓄積し、メーカーにフィードバックしたり、研究者と共有する仕組みが未整備であるために、同じ事故が繰り返された。これは、事故情報収集に



図8 安全知識循環型社会システム

における問題である。また、遊具の事故による撤去の問題の場合、研究を行うことで低コストな対策法が見つけれられる場合があるにもかかわらず、安易に撤去してしまう風潮があり、事故事例の知識化不良の問題である。プール排水口における吸い込まれ事故の場合、実は、何年も前から財団法人日本体育施設協会から、対策法が考案されていたにもかかわらず、現場に伝達されていなかったために事故が繰り返された事例である。これは、対策法伝達不良の問題である。現在、日本では、収集技術、知識化技術、伝達技術のいずれにおいても未整備の状況にある。

2. 傷害予防に求められる包括的アプローチ

Ⅲ-1では、社会システムという観点から傷害予防に必要な仕組みについて考察したが、ここでは、リスク管理、もしくは、リスク制御の観点から考察する。リスクの制御という観点から見た子どもの傷害予防の考え方を図9に示す。図9は、ISO/IECのGuide51(ガイド51:規格に安全に関する面を導入するためのガイドライン)<sup>4)</sup>で述べられているリスク評価・低減法の一般論に基づいて、子どもの事故・傷害予防に適用するために拡張したものである。図9

では、製品のリスクを制御するためにわれわれが制御可能な対象を、大きく環境・製品(図中左側)と、人の意識・行動(図中右側)とに分類し、その全体を1つのシステムとして捉え、環境改善と行動変容の両方を1つの制御系と捉えフィードバックループを作って持続的改善していく包括的なアプローチを示している。改善可能なものに関しては、製品を改善することによって危険性を低減させていく一方で、実際上、製品の改良では危険をゼロにすること(ゼロリスク)が困難である場合がほとんどであることから、その危険に関する情報をコミュニティに伝え、情報の共有化を図るリスクコミュニケーションも同時に扱っていくことが重要である。本稿では、図9の中の左半分の環境改善フィードバックループの一例を示した。今回の事例では、病院における傷害サーベイランスによって滑り台事故による傷害を発見し、そのリスクが繰り返される可能性があることから研究対象として取り組む決定を行った。さらに、計測技術やシミュレーション技術を用いることで、滑り台事故を再現しリスクの発生要因を理解し、そのリスクを軽減するための対策法を開発し、これが自治体によって実施された。

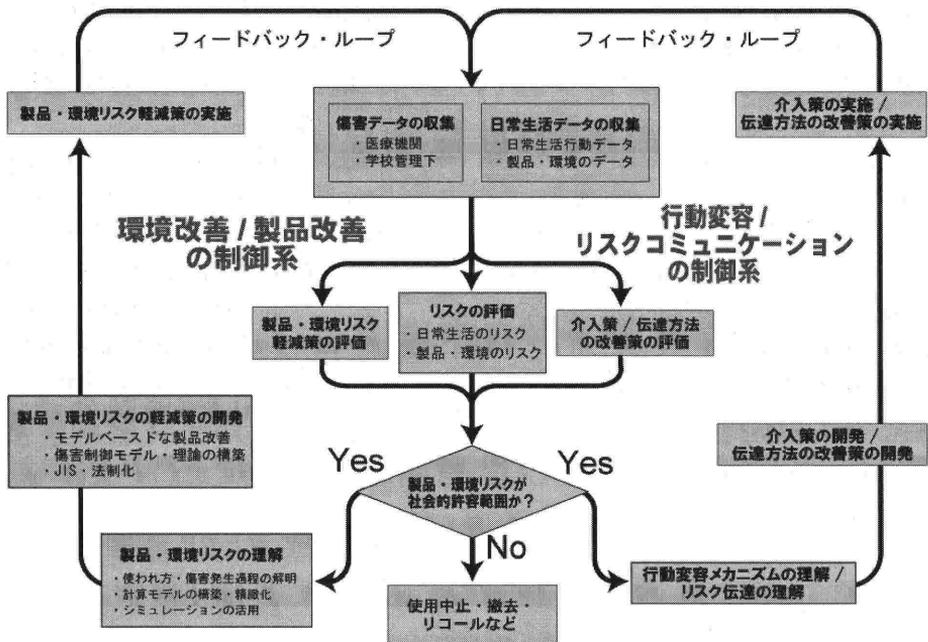


図9 傷害予防のための包括的アプローチ

#### IV. おわりに

本稿では、公園における滑り台からの転落による頭蓋骨骨折の事故事例を取り上げ、病院で収集した傷害データを対策法に加工するための工学的なアプローチを紹介した。また、今回取り組んだ事故事例を一般化したものとして、傷害予防のための社会的な仕組みとしての安全知識循環型社会の概念について述べた。さらに、傷害データや日常生活のデータに基づいて、エビデンスベースドに製品改善とリスク共有を進めていく傷害予防の包括的なアプローチについても述べた。

本稿では、こうしたアプローチを下支えする工学的なアプローチを特に紹介したが、病院情報と工学的な手法だけで傷害予防を実現できるわけではない。多様な専門知識を結集させる学際的な協力と、多様な実行力を発揮できる業際的な協力である。

実際、今回紹介した事例で典型的に表れたように、多くの分野の専門的協働が不可欠である。今回の場合は、まず、病院で事故事例をキャッチすることが不可欠であり、医師の協力が不可欠である。その後の詳細な分析には、被災者の協力や事故現場の管理者である自治体の協力が不可欠であった。今回使用したコンピュータシミュレーション技術のベースには、金沢大学の生体衝突解析技術があった。この技術を子どもの転落分析に応用するためには、子どもの頭部モデルを作成する必要がある。そのための頭蓋骨の形状データを計測するために、東京大学人類学教室と千葉大学放射線科の協力が不可欠であった。さらに、分析された知見を現場に反映させるには、その意義を理解し、実行できる横浜市の協力が不可欠であった。

日本では、情報を受け取った人が適切に分析

できずに、個人情報保護の問題から、外に公開して助けを求めることもできず、その結果、予防に結びつく可能性のある貴重な情報が埋もれてしまうことが頻発している。事故の原因究明には、あらゆる分野の知識を総動員する必要がある。多くの場合、1つの組織だけで対応することは不可能である。原因究明には、医学・法医学、人間工学、バイオメカニズム、心理学、認知科学、情報工学、材料・破壊力学、機械力学、流体力学、熱力学などの知見が要求されるし、これを社会還元させるには、経済学、法学の力も必要となろう。これを解決するには、「公開を前提とした情報の受け取り方」を実施し、情報共有と知識循環の研究者ネットワークを作り、このネットワークを使って事故事例に対応してその都度、課題解決にあたる機能的なグループを柔軟に結成して解決することが現実的であり、有効であり、低コストであるアプローチであると考えている。

#### 文 献

- 1) 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, 3G1-06, 2008.
- 2) 西田佳史, 本村陽一, 山中龍宏, “子どもの傷害予防へのアプローチ—安全知識循環型社会の構築に向けて—” 小児内科, 2007; 39 (7) : 1016-1023.
- 3) CPSC, “An Evaluation of Finger Injuries Associated with Home Document (Paper) Shredder Machines,” CPSC-ES-0501, 2004.
- 4) ISO/IEC Guide 51 Safety aspects—Guidelines for their inclusion in standards, 1999. (ISO/IEC ガイド51 安全面—規格に安全に関する面を導入するためのガイドライン, 1999)