

次元のデザイン

—生活の場の科学とコレクティブアプローチによる高次元傷害予防—

西田佳史（東京工業大学）

1. 次元という統一的視点

傷害予防に関わる問題は、他の研究領域で作成された基礎理論を、単に「適用」「応用」するだけでは対応できない複雑な問題ばかりである。現実の社会問題は、本当に解決を目指すとは複数の問題が畳み込まれた小宇宙のようなもので、他の異なる分野で直面している社会問題と必ずといってよいほど共通点がある。たとえば、傷害予防分野で課題となる、「望ましいと考える行動をどう取ってもらうか」という行動変容(Behavior Change)の課題などは、人と問題がかかわる分野であれば、およそどの分野にでも現れる。最近よく耳にするELSI (Ethical, Legal and Social Issues の略で、新規科学技術の社会実装で直面する倫理的・法的・社会的課題の総称を意味し、エルシーと発音される)などもそうである。社会問題を扱っている多くの人によって、どれも、いまさら感のある問題提起であろう。例を挙げるまでもないが、自動運転の分野、人工知能を活用する教育分野、IoT を活用するヘルスケア分野、認知症支援分野、高齢者の社会参加分野など、どこにでも登場する。

次元のデザインの問題もその一つである。傷害予防分野では、多職種連携、コミュニティベース参加アプローチなどの必要性が訴えられている。他の分野でも、人間中心、ユーザ起点、サービス工学、デザイン思考、一人称アプローチなど、少しずつ重心を変えながらも同様なことが様々な表現で示されているが、これらに横たわる共通問題の一つが次元のデザインの問題である。なぜ、職種がたくさんであると良いのか？、コミュニティベース取り組むことで何が変わるのか？、人間中心とは何が達成されることなのか？、共感できる理由とできない理由はどこから生まれるのか？、などを紐解く一つの着眼点が次元であると考えている。本稿では、他の分野の知見や、傷害データの最新の分析事例を示しながら、傷害予防における課題を、次元デザインの観点から述べてみたい。

2. 見えない次元・隠れた次元という考え方

ここでの次元は、物理学でいうところの次元の意味で、ある点が動くことができる軸の数を指す。自由度とも呼ばれる数である。0次元は点（動けない）、1次元は線や曲線に沿った動きなので1自由度で動ける、2次元は平面や球面の上を2自由度で動ける、3次元は上下左右前後と3自由度で動ける空間である。我々の生活している3次元空間は、超ひも理論においては、いまだ証明はされていないものの、実は3次元空間ではなく、9次元空間だと予想されており、 $9-3=6$ 次元分は小さすぎて見えないとされている。

ここで、次元の解説でよく出てくる事例(Green, 1999)がわかりやすいので紹介したい。図1のロープは、線（曲線）なので、動けるのは1自由度である。手前に動くか、向こう側に動くかである。しかし、近づいてみると、図2のように、蟻にとっては、円筒形のような動きが可能となる。



図1：隠れた次元—線にみえるロープの例

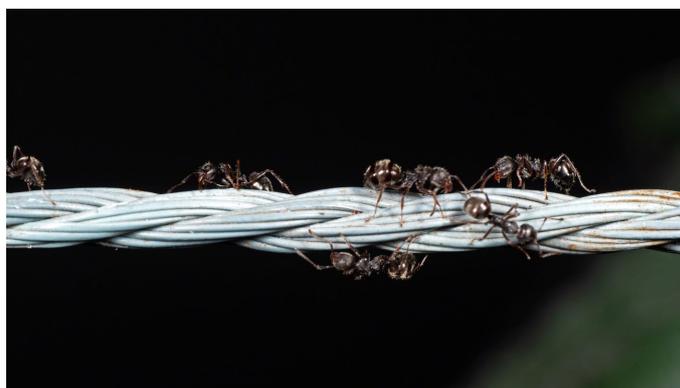


図2：見えてきた次元—蟻にとっては曲面のロープと動き回れる方向

円筒は曲面なので直線からもう次元増えて、2次元に増えたわけである。ちなみに、見えないはずの6次元分を見えるように低次元化し見えるようにした図が、図3に示すカラビ・ヤウ多様体として知られる複雑な形状であるが、超ひも理論では、このような空間が非常に小さく、我々を取り巻く3次元空間上の至るところに存在していると考えられている。

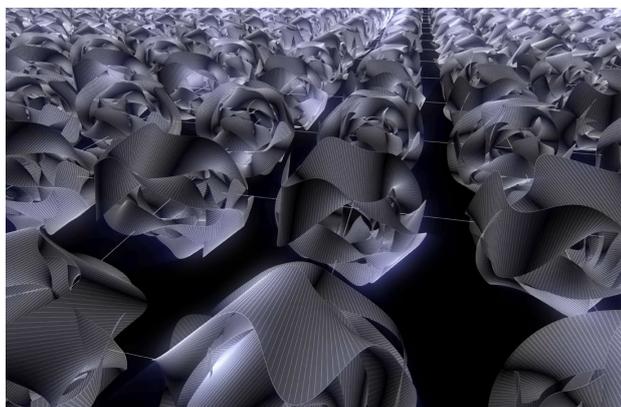


図3：見えない6次元（3次元で可視化されたカラビ・ヤウ多様体の例）

このように、観察する道具によって、観察対象の次元は変化する。また、次元が増えると、操作可能な方法（動ける自由度）も増える。このことは、いま何らかの操作をしたい対象があったとして、その対象から離れてみていたのでは、見えない次元が多すぎて、どのように操作してよいのかが分からないことを意味している。ある課題を解決するための適切な介入（操作）のためには、解像度が高い観察装置が大事であるし、蟻のようにその空間を動き回れる制御装置も大事であることがわかる。

この次元デザインの観点からすると、コミュニティベース研究の方向は、地域で生活している人にはどんな人がいて、どんな困難を抱えているのかを明らかにする、すなわち、観察する分解能を上げる方向を指している。一方、解像度が高い観察が行われても、問題を解く側が、ちょうど蟻のようにその空間を自在に動き回れないのでは意味がないので、多職種連携（コレクティブアプローチ）は主に、操作する側の自由度を上げる試みを指していることがわかる。しかし、対象がわからないのに、操作する側だけ増えても不十分であり、観察側も操作側も両方も高次元である必要がある。もちろん、職種が増えると気づかないことに気

づくようにもなり、観察側の高次元化にも役立つので、完全に独立ではない場合がある。さらに、近づきすぎて全体がわからないという問題もある。この場合には、現象から離れて、大きな構造を捉える低次元化も必要である。

このように問題解決のための次元のデザインでは、問題構造の全体も、細部も把握するという意味で巨視的視点と微視的視点の2つの視点が必要であり、また、現象を理解し、介入し変えるという意味で、観察側の次元と制御側の次元という2つの側面が必要である。

3. コミュニケーションにおける次元の問題

コミュニケーションに関しても、巨視的・微視的な意味での次元の観点が重要となる。抽象化をすると、すなわち、対象から離れていくと、次元が低くなり、巨視的な構造はみえるものの、逆に、細部が見えなくなる。そうすると、どう変化させてよいのかが分からなくなる。抽象的な言い回しがわかりにくいのは、この次元の低次元化の問題から来る現象である。傷害予防の分野でも、このような現象の一つとして注意喚起の問題がある。周知徹底する、くまなく見る、できることは全部やる、などの低次元な情報ではなく、AEDを持参する、墓石や灯籠がないか確認する、など高次元な情報がないと動けない。よく、抽象的な話は、広い視野にたった、大きく構えた、大所高所、という意味で、次元の高い話と表現されることがあるが、上述した観点からは真逆で次元としては低いものになるので要注意である。

その具体例を紹介したい。今から10年以上前に、ベビーカーの折り畳み機構によって指切断事故が多発したことがあった。そこで、この事故がどのように認知されているのかを調べるために、乳幼児をもつ保護者を対象に「ベビーカーで指挟み事故がおこっているのを知っているか」と「ベビーカーで指切断事故がおこることを知っているか」という質問を行った（大野, 2012）。その結果を表1に示す。

表1 指はさみと指切断の認識のずれ

それぞれの事故がおこるの を知っていましたか (N=116)		指挟み	
		はい	いいえ
指切断	はい	48	4
	いいえ	26	34

(無回答4)

指挟み事故の危険を知っている人の35%もが、指切断の危険性を知らないという結果であった。指挟みという表現は、「挟む」だけではなく、それによって生じる、「切断」、「出血」、「打撲」などの危険に関する物理現象を包含した広い概念であるが、これらの高次元な情報が伝えられるわけではなく、実際には、次元が縮退し、本来伝える必要があった指切断という物理現象は消えてしまったことになる。このように適切な表現を用いないと次元の低次元化（縮退）が起こることになる。言語とそれが意味する物理現象の間には、こうした低次元化の問題が常にあり、それが言語を便利足らしめている理由でもあるが、一方で、メッセージ発信の際に、伝えたい情報が伝わらない危険が常にすることに留意する必要がある。受け手のヒヤリングなどを通じて、情報の低次元化が意図せず起こっていないかに気を付ける必要がある。現状そのような確認は皆無といってよい。

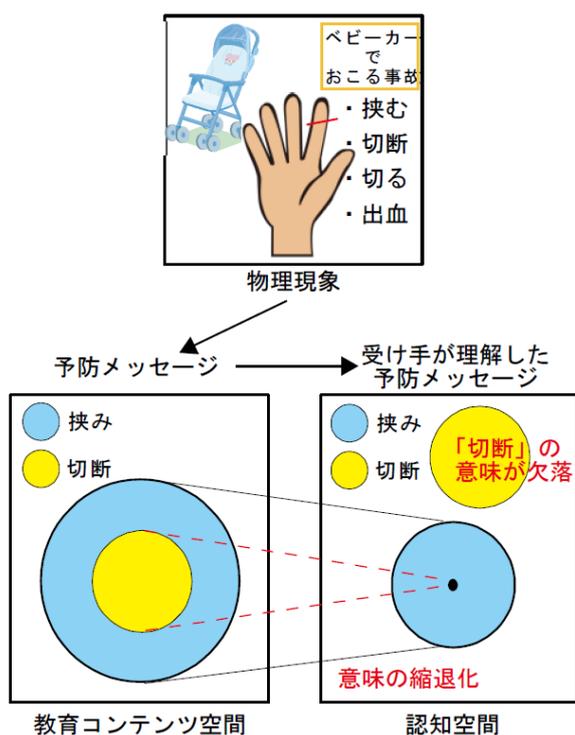


図4:教育コンテンツで伝えたい意味と受け手が認知する意味の関係

4. データサイエンスを活用した次元のデザイン

適切なメッセージ発信の設計に次元のデザインの考え方を取り入れた事例を示したい(Oono, 2024)。

現在、事故状況に関するビッグデータはあるものの、これを予防に活用する方法、言い換えれば、デザイン

領域に踏み込んで、状況をデザイン可能にするために、どのように活用することができるかについては、ほとんど分かっていない。現場でも実際には予防に役立たない抽象的なガイドラインが多数作成され、現場を疲弊させる要因になっており、予防に役立つ情報提示方法の確立が求められている。

そこで、テキストマイニングと平均情報量と呼ばれる情報学の指標を応用した状況情報量を用いて、情報の粒度の変化が予防デザインに与える影響の調査を、データ活用ワークショップ（合計129人）を実施することで行った。人に提示する情報の粒度を操作し、粒度変化が予防デザインにどのような影響を与えるかの調査を実施した。粒度の操作とは、具体的には、以下のような操作を指す。テキストマイニングを使って、数千個ある事事例を、類似している事例ごとに5個とか30個などに分類し、分類されたカテゴリをよく表すように抽象化した表現を人が考えて表現しなおすという操作である。これは、もともと数千件あった事事例を縮約する作業であり、低次元化の操作である。

たとえば、5783件の滑り台の事故を5グループだけに分類すると、それを表現するために抽象化をしなければならなくなり、「滑り台から落下する」「滑り台の周りで走っていて、滑り台と衝突する」などとなる。もう少し、細かく30グループに分けると、たとえば、「滑り台から飛び降りたとき、手を地面について痛める」「鬼ごっこをしていて滑り台の下をくぐろうとして、頭をぶつける」などになる。図5に詳細を示した。

クラスタリング5の場合

リスク	事故状況
高い	すべり台から落下する
	すべり台の周りで走っていて、すべり台にぶつかる
	すべり台で遊んでいて怪我をして、児童が痛みを訴える
低い	すべり台の上やスロープで転倒する
	すべり台の階段を登っていたところ、転倒する

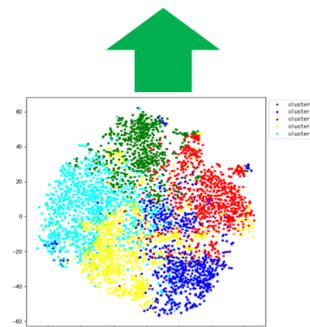


図5 滑り台の事故の荒い表現と細かい表現

データ利活用ワークショップは3回実施した。1) 保育士対象（鉄棒の情報を荒い粒度と細かい粒度で提示 N=65）、2) 保育士対象（滑り台の情報を荒い粒度と細かい粒度で提示 N=27）、3) 児童館の職員対象（滑り台の情報を荒い粒度と細かい粒度で提示 N=37）。

図6に示すように、職種（保育士）を固定し、鉄棒と滑り台の場合の、情報の細かさ（次元の高さ）と予防考案数の関係を示した。横軸の状況情報量は、情報の細かさを示しており、左側にいくほど、抽象的で、右側ほど、具体的であることを示している。この図から、次元の低い（すなわち、抽象度が高い）情報提示に比べ、次元が高（すなわち、細かい粒度で具体的な）情報提示の方が、予防策考案に寄与することが確認された。また、鉄棒における細かい事故状況と粗い事故状況の予防考案数の増加率（予防考案数/状況情報量）が0.56個/bitなのに対し、滑り台の増加率が1.1個/bitであり、約2倍の違いがあり、事故の対策を考える対象（この場合、遊具）によっても、結果が異なるということが分かってきた。

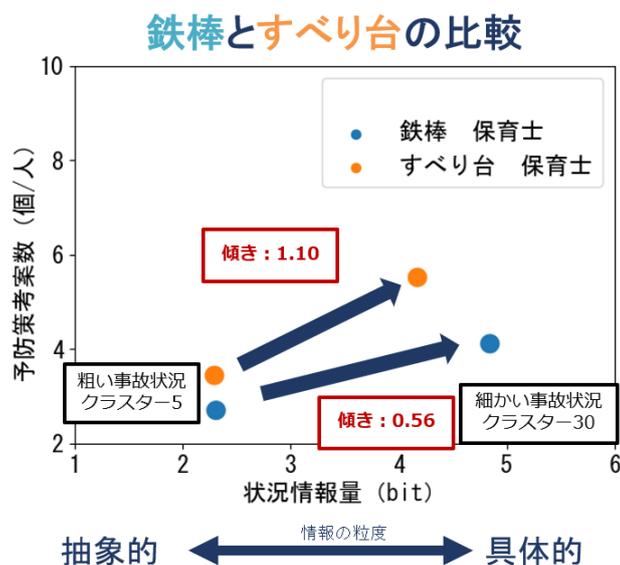


図6：状況情報量（次元）と予防の思いつきやすさの関係

次に、図7に示すように、遊具の種別を滑り台だけにして、職種を変更した実験では、環境改善に関連する対策を思いついた数で比較したところ、保育士の場合の考案数の増加率は1.1個/bitであったのに対し、児童館の職員の場合の考案数の増加率は1.75個/bitであり、職種によって、情報量が増えたときに予防策の考案数が増え方も異なっていた。このことは、次元の

高い情報が重要ということだけではなく、対策法を考える人間の多様性（次元の高さ）も重要であることを示唆している。

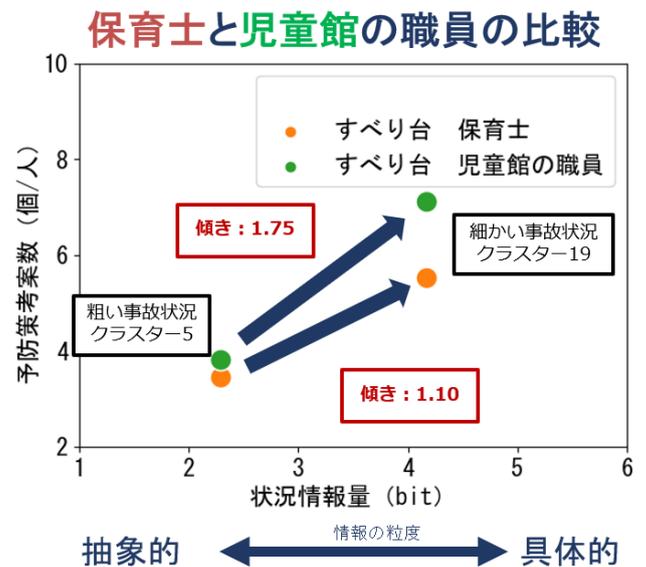


図7：状況情報量（次元）と職種との関係

このように、予防策考案は、対象を捉える次元の高さ（どれだけ詳細な情報か）に関連があること、また、操作する側の次元の高さ（職種の豊富さ）にも関係することが分かってきた。

5. 最新の計測技術を活用した次元のデザイン

データに基づく科学的な傷害予防の仕組みづくり

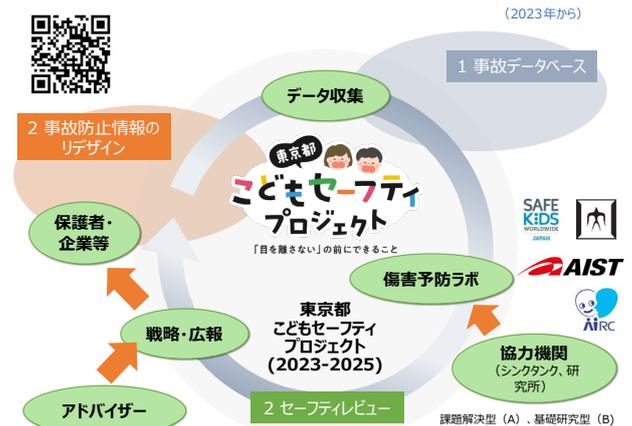


図8：傷害予防の地域実装を進めるプロジェクト（東京都）

図8に示すように、東京都では、2023年度から、事故データや生活の場に踏み込んだ現象データを活用し、科学的な根拠に基づいて、行政、実務者、アカデミアが連携することで、傷害予防の地域実装を進めるプロジェクトが開始された（東京都, 2024）。このプロジェ

クトの成果として、新しい計測技術を用いた生活理解の高次元化の例を紹介したい。

近年、距離画像センサが安価になり、スマートフォン等を利用して、手早く在宅環境で3次元計測を行うことで、実際の生活現場に踏み込んで、生活現象を理解する生活セントリックアプローチが可能になってきている。高解像度な生活像が得られる時代が到来している。このことは、従来困難であった、実環境データに基づいたシミュレーションの開発や、その社会実装が現実的なものになりつつあることを意味している。過去、乳児突然死症候群（SIDS）と呼ばれる疾病に関しては、ドイツで死亡現場を訪問し、ベッドの材料特性を調べるなどの研究例(Schlaud, 2010)があるが、転倒・転落に関しては、實際上ほとんど公開が不可能な警察の調査のみであり、知見の公開を前提とした調査研究された事例は皆無である(山中, 2017)。

そこで、27軒の事故現場（住宅）を訪問し、ヒヤリングと55個の物体・環境に関して、図9に示すような3Dスキャンによる詳細な調査を行った。

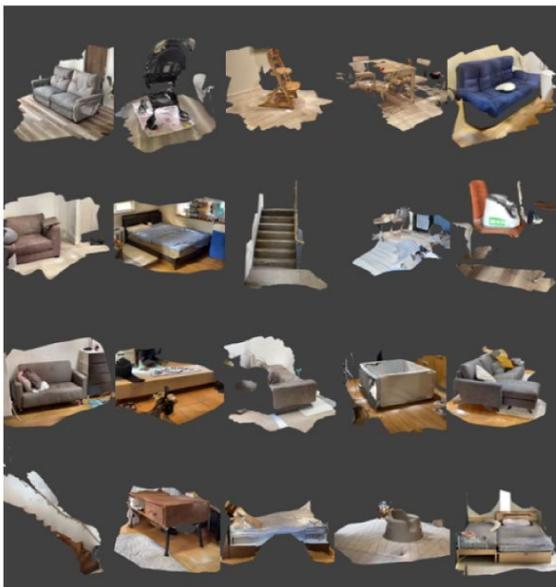


図9：3Dスキャンを用いた詳細な転落現場の調査

その結果、図10に示すように、20cmから90cmまで幅広くよじ登っていることが確認された。また、保護者へのヒヤリングから、椅子などによじ登って転落した事故が15件(33%)、寝返りによって転落した事故が18件(27%)発生したことが明らかになった。よじ登りに関しては、棚の上のものを取ろうとして、バランスを崩すというものがあつたが、棚ごと倒れるという危

険性が潜在する事例もあつた。

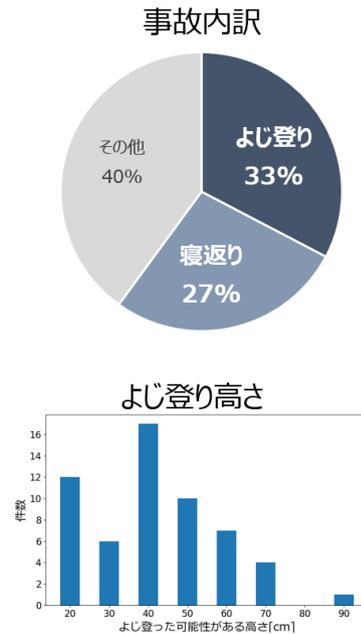


図10：3Dスキャンを用いた詳細な転落現場の調査

米国の消費者製品安全委員会の報告書(CPSC, 2022)によれば、2018年から2020年の34年間で、22,500件の家具転倒による事故で救急搬送されており、子どもに限ると、TVやTVが置かれた家具の転倒により、2日に1人の子どもの死亡が起きている。乳幼児のよじ登りの結果起こる、家具の転倒による対策も急務となっている。

子どもが家具をよじ登る際に、家具側にどれくらいの力がかかるのかがわかっていないため、それを調べる実験を行った。よじ登り高さが可変で、かつ、よじ登り時の作用力を計測可能な力センサが埋め込まれた台を作製した。使用したセンサは、2軸であり、重力方向の成分(垂直方向)と重力に対して直交する成分(水平方向)を計測可能である。幼児37名(月齢13~45か月、平均31か月)を対象に、作製した台によじ登る際の垂直・水平方向の力を計測した(図11参照)。

図12に示すように、よじ登る際、水平方向には0.45倍相当の力が加わっていた。この結果より体重の0.5倍の力が水平に作用した場合の家具の転倒可能性の確認することで、幼児のよじ登りによる転倒可能性の評価が可能であることが分かった。

この評価指標の実行可能性を検証するため、固定されていない家具の上部の端を水平方向に引っ張ること

によって傾き始める力を計測すると、例えば、高さ145cmの棚では7.9kgf、大きさ65インチのテレビでは8.8kgf、高さ135cmの冷蔵庫では9.3kgfの力でそれぞれ傾き始めることが確認された。



図11：子どもがよじ登り実験の様子

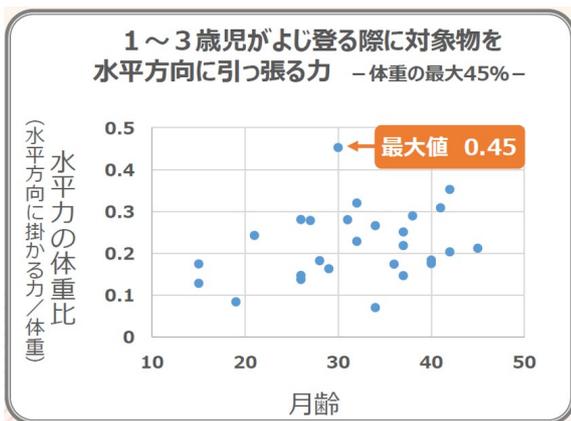


図12：子どもがよじ登る際に物体にかかる倒す方向（水平方向）の力

ここで紹介した事例では、最近安価に利用可能になった3Dスキャンを用いて詳細に事故現場を調査した。さらに、そこから転倒の危険を確認する指標の必要性が見えてきたので、それを具体的に示すための実験を、日本インダストリアルデザイン協会の社会問題解決研究グループのメンバー、小児科医師、保育所、研究所などが連携することで実施したものであり、現象の高次元化と、操作可能化のための高次元化の実施例である。なお、子どもの転落に関わる実験の詳細や5項目の提言（図13）に関しては、東京都のデジタルブックを参照されたい（東京都，2024）。

科学的視点から、転落事故を予防

エビデンス

事故予防策

目安：0～6歳（小学校入学前）

提言1	窓際に配置された家具等から転落している	家具の配置を見直す
提言2	70cmを超える高さでもよじ登れる	よじ登る動きを抑制する
提言3	最大で体重の約半分の力で家具を引っ張る	家具を固定する
提言4	寝返りは1秒間で20cm進む	落ちない場所で寝かせる
提言5	成長とともによじ登れる高さは高くなる	床の材質を見直す

図13 子どもの転落事故による傷害を予防する提言

6. おわりに

心理学、経済学、人工知能、デザインの科学など数多くの分野で著名でルネサンス人とも称されたハーバート・サイモンは、かつて、人工物の科学という書籍の中で、『現実の世界は、基礎的な科学研究を導くよい研究課題の、もっとも豊かな土壌なのである』と述べた（Simon, 1996）。傷害予防は、傷害予防を推進する人工的なシステムに関する分野であり、筆者が傷害予防の研究に着手した2004年からちょうど20年が経過したが、大きく前進した部分と未解決の部分がある。現在の到達点と今後の課題（7項目）については、2023年に発出された日本学術会議の見解（日本学術会議，2023）で詳しく整理されているので、そちらを参考にされたいが、アカデミアの立場から見ると、ハーバート・サイモンが述べたように、実際に、科学的探究の豊かな土壌であり、とても魅力的な研究領域だと感じている。事故や傷害という一見ネガティブな現象が魅力的というとおかしく聞こえるかもしれないが、事故や傷害が予防可能化できるというのは、社会ニーズ上もそうであるが、学問としても、とても魅力的なテーマだと感じている。

本稿で示したように、現在、安価に、生活の場に踏み込んで3次元形状のデータを収集し微視的に分析することができる時代になっている。また、そのような高解像度のデータを記録し処理する技術や、大規模な

データを適切に低次元化して巨視的な構造を分析する技術も利用可能になってきている。さらに、遠隔地に行かずともデータを取得したり、専門家相互をつながりやすくできたりする遠隔会議技術なども普及している。このことは、観察側と操作側の両側面の次元を的確にデザインすることが容易になってきていることを示している。

現象がどうなっているのか分からない場合には、様々な観察装置やデータサイエンスを駆使して、次元を高次元化したり、低次元化したりすることで、巨視的・微視的に観察する。そして、現象が分かってきたら、これをうまく操作するための方法を、今度は、コレクティブなアプローチで探る。例えば、各家庭を実際にもしくは仮想的に訪問し働きかけるであるとか、XR と呼ばれる情報提示で、その場、その家庭にあった情報を届けるとか、事業者インセンティブが働く安全性表示制度を作るとか、スマートホーム技術と連動した先進的な見守り技術を開発するとか、議員とともにロビー活動をするとか、これ以外にも様々な可能性が隠れた次元に眠っている状態である。



図 14: 生活の科学とコレクティブアプローチによる生活の次元デザイン (DALL-E3 で作成)

ぜひ、若い人にもどんどん参画して頂き、新たな発想や技術を持ち込み発展させることで、観察する側と制御する側の次元のデザインを進めて欲しいと切に願っている。本稿を読んで興味を持たれた学生、研究者がおられたら、info@lcdlab-titech.com まで連絡をもらいたい。次元のデザインを待ち望んでいる傷害予防分

野における豊富なデータ、道具、研究テーマを提供したい。

参考文献

1. Brian Green, *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory*, W. W. Norton, 1999
2. 大野美喜子, 西田佳史, 山中龍宏, “予防メッセージにおこる意味の縮退化現象,” 日本科学教育学会年会論文集 Vol. 36, pp.283-284, 2012
3. Mikiko Oono, Masaaki Ozaki, Yoshifumi Nishida, “How the information granularity affects the prevention design – development of an artificial intelligence-based situation r-map analysis –,” 16th International Conference on Computer Supported Education, 2024 (in press)
4. 東京都, “科学で探ることの事故予防策—転落—,” https://kodomosafetypj.metro.tokyo.lg.jp/_manage/wp-content/uploads/report_pocket_book.pdf, (参照 2024-03-21)
5. M. Schlaud, M. Dreier, A.S. Debertin, K. Jachau, S. Heide, B. Giebe, J.P. Spermhake, C.F. Poets, and W.J. Kleemann, “The German case-control scene investigation study on SIDS: epidemiological approach and main results.”, *Int J Legal Med.*, 124(1), 2010
6. 山中龍宏, 北村光司, 吉川優子, 吉川豊, 西田佳史, “子どもの死を予防に繋げる Child Death Review (CDR) : 予期せぬ傷害 (unintentional injury) を扱う既存社会システムの分析と課題”, *国民生活研究*, vol.57, No.2, pp.74-96, 2017
7. U.S. Consumer Product Safety Commission, “Product Instability or Tip-Over Injuries and Fatalities Associated with Televisions, Furniture, and Appliances: 2021 Report,” 2022
8. Herbert A. Simon, “*The Sciences of the Artificial* 3rd edition,” MIT Press, 1996
9. 日本学術会議心理学・教育学委員会・臨床医学委員会・健康・生活科学委員会・環境学委員会・土木工学・建築学委員会合同子どもの成育環境分科会, “見解「こどもの傷害を減らすためのデータ収集および利活用の促進」,” 2023