

人間の計算論に基づくデジタルヒューマンコンテンツ - 乳幼児行動の計算論に基づく乳幼児行動シミュレータ -

西田 佳史^{†‡} 本村 陽一^{†‡}

† 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター 〒135-004 東京都江東区青海 2-41-6

‡ 科学技術振興機構, CREST

E-mail: † {y.nishida, y.motomura}@aist.go.jp

あらまし 本稿では、人間の QOL 向上に資するデジタルコンテンツを実現するには、現在の世代である電子化されたデジタルコンテンツを、次の世代である計算能力を備えたデジタルコンテンツへ発展させる必要があり、そのためには、デジタルコンテンツにおけるアルゴリズム・ハードウェア論のみならず、人間の計算論が必要であることを述べる。本稿では、計算能力を備えたデジタルコンテンツの具体例として住宅内乳幼児事故予防のためのデジタルヒューマンコンテンツを取り上げ、筆者らが進めている乳幼児の計算論を構築する試みを述べる。また、このようなデジタルヒューマンコンテンツの展望を述べる。

キーワード デジタルコンテンツ, 乳幼児行動シミュレーション, 乳幼児事故予防, 乳幼児行動観察

Digital Human Contents Based on Computational Model of Human - Infant Behavior Simulation Based on Computational Model of Infant Behavior -

Yoshifumi NISHIDA^{†‡} Yoichi MOTOMURA^{†‡}

† Digital Human Research Center, AIST 2-41-6 Aomi, Koto-ku, Tokyo, 135-0064 Japan

‡ CREST, JST

E-mail: † {y.nishida, y.motomura}@aist.go.jp

Abstract This paper describes the necessity of paradigm shift from “digital contents as digitized things” to “digital contents with computation” for realizing real digital contents that improves our QOL. It requires not only theory on algorithm and hardware, but also computational theory on a person. This paper presents digital human contents for infant injury/accident prevention as an example of “digital contents with computation,” and describes our trial on creating a computational model of infant behavior. This paper also describes the perspective of digital human contents.

Keyword Digital Contents, Infant Behavior Simulation, Infant Injury Prevention, Infant Behavior Observation

1. 緒論

われわれは、WEB コンテンツ、音楽・映像コンテンツなどの多種多様なデジタルコンテンツに囲まれて生活している。デジタルコンテンツが人間の QOL 向上に資するように適切に発展していけば、その活用範囲はさらに広がっていくと考えられる。

コンテンツの本質は、計算機・開発者側の論理から人間・ユーザ側の論理への論理変換にある。さらに、その場・その人に合わせたユーザ指向のサービスを提供するには、能動的なデジタルコンテンツが不可欠であり、それがデジタルの本質に他ならない。能動的 (Active) とは、生成性 (Generative)、適合性 (Adaptive)、結合性 (Linkable) で表されるデジタルの特性を意味している。本来デジタルコンテンツが、その射程と捕らえるべき範囲を考えると、ログやデータベースなどの電子化されたコンテンツを、計算能力を備えたコンテ

ツへと発展させる必要がある。

筆者らは、以下のように、デジタルコンテンツはいくつかの世代を経て、発展していくと考えている。

- まず、あらゆるメディア、データ、ログが電子化される現在の世代であり、電子化されたコンテンツの世代 (第一世代) である。
- 電子化されたデジタルコンテンツは、計算機上で表象された次のステップとして、計算能力を備えたデジタルコンテンツ (第二世代) へ発展する。
- 計算能力を備えたデジタルコンテンツと我々の身の回りのオブジェクトとがコピキタス環境ミドルウェア (例えば, [1]) を介して統合されることで、実世界を扱うデジタルコンテンツ (第三世代) へと発展する。
- 実世界を扱うデジタルコンテンツは、実世界で

行なわれる人間の行動を認識する機能と統合されることで、実世界の人間とインタラクション可能なデジタルコンテンツオブジェクト（第4世代）へと発展する。

この中でも、電子化されたデジタルコンテンツと、計算能力を備えたデジタルコンテンツとの間には、実は大きな隔りがある。なぜなら、この世代では、デジタルコンテンツとは如何なる計算過程かが問われる必要があり、デジタルコンテンツが、その受け手である人間の何を計算し（計算論）、いかにその計算を実現するか（アルゴリズム・ハードウェア論）に関する理論や技術を必要とするからである。

本稿では、計算能力を備えたデジタルコンテンツの具体例として住宅内乳幼児事故予防のためのデジタルヒューマンコンテンツを取り上げる。ここでは、デジタルヒューマンコンテンツを、人間の計算論を備えたデジタルコンテンツを意味するものとして扱う。本稿では、我々の研究室において進めている乳幼児の計算論を構築する試みを述べる。まず、第2節で住宅内乳幼児事故の現状と課題を述べ、デジタルヒューマンコンテンツの必要性を述べる。第3節で、乳幼児の位置や乳幼児と環境中の様々なモノとのインタラクション・ログを多次的に記述するシステム（人とモノのインタラクションのコンテンツ）を述べる。第4節で、これらの電子化されたコンテンツを用いて、仮想空間内で乳幼児の行動や事故を生成することができるコンテンツとして、乳幼児行動シミュレーションシステム（計算能力を備えたデジタルコンテンツ）を述べる。最後に、このようなデジタルヒューマンコンテンツの展望を述べる。

2. 住宅内乳幼児事故

2.1. 住宅内乳幼児事故の現状と課題

子どもが歩き出せる1歳を過ぎたあたりから、不慮の事故が、子どもの死亡原因の第一位を占めている。最近のレポート[2]によれば、アメリカでは、不慮の事故により、年間5,600人（1日平均15人）もの14歳以下の子どもの命が奪われている。日本における子どもの事故による経済損失は、4,500～5,000億円と試算されている[3]。

乳幼児の事故に限らず、あらゆる事故の問題について考える場合、1) 事故が起こる前、2) 事故が起こったとき、3) 事故が起こった後、の3つのフェーズに分けて考える必要がある。起こる前は「予防」、起こった時は「救急処置」、起こった後は「治療、リハビリテーション」となる。この中で、最も大切であり、経済的にもすぐれたアプローチは「予防」であり[4]、乳幼児の事故を防止するためのデジタルコンテンツの開発が

急務となっている。

2.2. 乳幼児事故を予防するデジタルコンテンツの現状

住宅内の乳幼児事故の予防に資するデジタルヒューマンコンテンツを実現するためには、乳幼児が何を考え、どのように行動するのか、という乳幼児の行動の計算論を扱う必要がある。しかしながら、子どもの行動は、身近な現象であるのにも関わらず、日常生活空間における子どもの行動の発現メカニズムや、事故の発生メカニズムについてはほとんど分かっていない。

これまでに、医療の分野では、乳幼児事故防止に関する研究が行われてきた、統計的な事故の現状調査や、過去の事故の事例をもとにした予防策が提案されている（例えば、[3][5]）。また、子どもの発達にしたがって、どのような行動が発現してくるかに関する統計的なデータも存在している[6]。乳幼児の育児の分野では、行動の臨床的な観察に関する知見が蓄積されている[7]。また、建築学の分野では、事故が生じにくい環境を設計するための基礎データとなる乳幼児の身体データや、運動能力に関するデータの収集も始まっている[8]。しかし、これらは、電子化されたデジタルコンテンツに留まっており、乳幼児の計算論が組み込まれていない。また、日常生活空間で生じる乳幼児の行動を観察・解析のツールがないため、そもそも、日常生活空間で生じる多様な乳幼児の定量的な行動データが不足しており、これまで得られた知見を、日常行動の観点から総合的に理解しなおすことが困難な状況である。

認知心理学、発達行動学の分野では、乳幼児の行動の発現メカニズムを理解しようとする試みが古くから行われてきている。例えば、比較的研究が進んでいる乳幼児の視覚に関しては、以下のような知見が得られている。生後3,4ヶ月ごろに両眼視差を用いた距離の知覚が始まり[9]、7ヶ月ごろになると両眼視だけではなく、pictorial depth cue（単眼視）を利用した、対象物までの距離知覚が発達してくる[10]。対象物の識別に関しては、7ヶ月ごろに形状情報を用いた識別、11ヶ月ごろにテキスチャー情報を用いた識別、12ヶ月ごろに色情報を用いた識別が発達する[11]。視覚情報と乳幼児の把持行動の関係に関しては、対象物との距離、対象物の大きさ、対象物の動きなどによって、リーチング動作の出現頻度が変化することが判明している[12]。しかし、こうした研究にも関わらず、日常生活空間における乳幼児の多様な行動と比較すると、ある限られた行動や認知能力のみをモデル化することに留まっている。

このように、神経科学、認知心理学、行動発達学で取り扱われている行動現象と、統計データとして蓄積

されている乳幼児の事故現象や臨床的に知られている乳幼児の行動との間には、大きな隔たりがある。この Missing Link を埋めるためには、事故の統計データというレベルからすればよりミクロなレベル、神経科学的・認知心理学レベルからすればよりマクロなレベルである日常行動のレベルで事故を記述する必要がある。すなわち、日常生活空間における乳幼児の多様な行動現象を扱う乳幼児の計算論が可能になると考えられる。

2.3. 乳幼児行動の計算論に基づく

デジタルヒューマンコンテンツの試み

筆者らは、住宅内の乳幼児事故の予防に資するデジタルヒューマンコンテンツの実現を目的に、乳幼児の行動の計算論、および、乳幼児行動の計算論に基づくデジタルヒューマンコンテンツの開発を進めている。

乳幼児の日常行動のデジタルコンテンツについては、いまだ、不足しているため、それを作成するためのシステムとして、部屋型・ウェアラブル型のセンサを用いて乳幼児行動コンテンツを作成するシステムを構築することで、電子化された行動コンテンツの蓄積を進めている。また、このように収集された電子化されたコンテンツと、これまでに得られている乳幼児に関する様々な知見を計算機上で表現し、統合することで、日常環境で生じる乳幼児行動の計算論を、乳幼児行動が生成可能なモデルとして開発し、さらに、開発した乳幼児行動モデルを用いて乳幼児行動や事故を仮想空間内でシミュレーションするシステムの開発を進めている。

3. 乳幼児行動多次元観察システム

3.1. 乳幼児行動多次元計測アプローチ

本研究では、日常生活空間内の乳幼児と環境中の様々なモノとのインタラクションのデジタルコンテンツを作成するためのアプローチとして、部屋型・ウェアラブル型のセンサシステムを用いて多様な行動現象を丸ごと観察するアプローチ(多次元計測アプローチ)をとる。現在、小型で安価な様々なユビキタスセンサが入手可能となっており、こうしたアプローチが可能になってきている。本研究では、日常生活空間において、実際にどのような行動が生じるのかを観察し、定量的に捉えるためのツールとして、日常生活空間を模擬した部屋を構築し、この部屋に多数のセンサ群を埋め込むことで、乳幼児の心理学的、生理学的、行動学的現象を多次元的に記録・解析するシステムを用いる。

3.2. 乳幼児行動観察システム

構築した多次元観察システムは、生活空間を模したセンサルーム、センサルームに取り付けられた超音波3次元タグ、乳幼児の行動を動画で記録するための魚眼カメラ、乳幼児の生理情報を計測するための携帯型

生体計測装置から構成されている。超音波式3次元タグシステムは、対象物や人に取り付けられた超音波タグ(超音波発信モジュール)によって発せられた超音波を、天井や壁に設置された超音波受信モジュールで受信し、到達時間から距離を算出し、3次元位置を計測するシステムである。市販されているモーションキャプチャと比較すると低コストであり、現実的なコストで、センサの数を増やすことが可能である。そのため、広範囲の空間の計測や、オクルージョンの影響を軽減するためのロバストな計測が可能となる[13][14]。図1に、開発した超音波タグの写真、図2に、センサルーム内の22個の対象物に超音波タグが取り付けられている様子を示す。

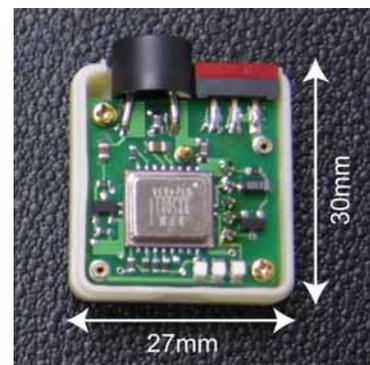


図1 開発した超音波3次元タグ

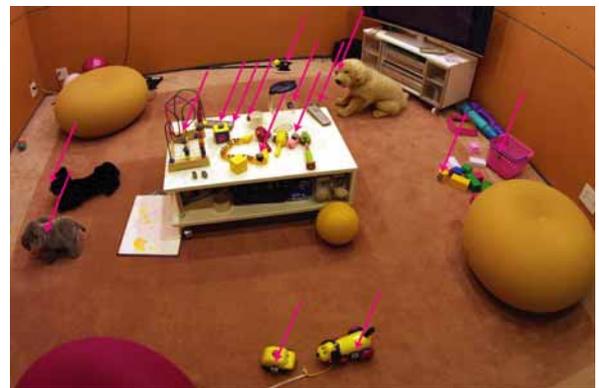


図2 構築した乳幼児行動多次元観察システム、および超音波タグが取り付けられた対象物

図3に本システムによって計測された1時間の乳幼児の軌跡の例を示す。実環境での乳幼児の行動では、対象物を乳幼児が把持し、移動させることが頻繁に生じるが、本システムにより、乳幼児や母親の位置のみならず、移動した対象物の位置も計測可能である。本システムを用いて、例えば、乳幼児の頭部に2個の超音波タグを取り付けることで、頭部の方向を検出することが可能である。

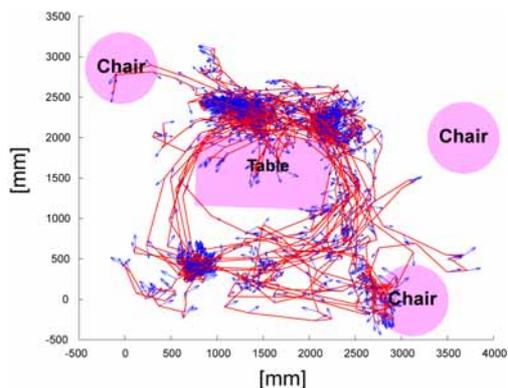


図 3 乳幼児の位置と頭の向き of 計測の例

3.3. 乳幼児行動の多次元解析

本研究では、構築した乳幼児行動多次元観察システムによって計測されたデータの解析は、人がマニュアルで行っている。解析者が、記録された画像を再生・巻き戻し参照しながら、Sit, Stand, Walk, Run といった行動ラベルや、"Interest in Ball", "Uninterest" といった興味ラベルなどを、マウスのクリック操作によって画像フレーム番号と関連付けることが可能であり、この作業によって、ラベルの時系列データを取得する。

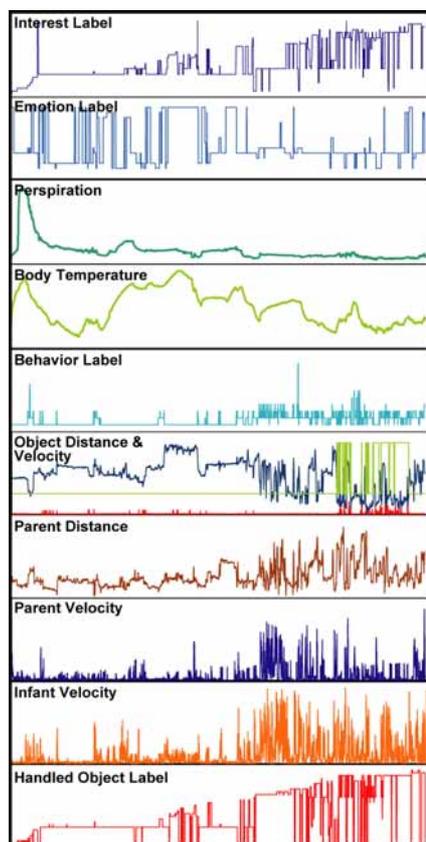


図 4 多次元解析の例

図 4 に示す。モノへの興味 (ラベル), 情動 (ラベル), 発汗量, 体温, 行

動 (ラベル), 乳幼児の速度, 各対象物との相対距離, 把持物体 (ラベル) などの変化を多次元的に計測・解析可能であることを示している。

このように取得されたラベルと、乳幼児と対象物の位置データを比較することで、例えば、乳幼児と対象物の相対距離と、対象物に対する興味の関係などが解析可能となる。

開発した乳幼児行動観察システムを用いて、乳幼児の位置、乳幼児の生理情報、モノの位置、画像の時系列データを記録し、解析者によって多次元ラベリングを行った後、再

動 (ラベル), 乳幼児の速度, 各対象物との相対距離, 把持物体 (ラベル) などの変化を多次元的に計測・解析可能であることを示している。

4. 乳幼児の計算論に基づく

デジタルヒューマンコンテンツ

4.1. 乳幼児行動の計算論構築のための構成論的アプローチ

乳幼児の多様な行動現象は、一種の複雑系であり、その理解のために、乳幼児の周辺の環境といった外的な要因、乳幼児の身体的、認知的、運動的能力や、それらの発達などの内的な要因を複合的に扱う必要がある。複合的な現象をうまくモデル化するアプローチとして構成論的アプローチがしばしば利用される。こうしたアプローチによって、これまでに得られている様々な知見を計算機上で表現し、統合し、合成してみることで、日常環境で生じる乳幼児行動の計算論の開発が可能となる。

複数の不確定な要因の結果として表れる行動を計算機上で表現するための方法として、確率的な枠組みが便利である。子供の行動の発達に関するデータなどは、いずれも統計的なデータとして蓄積されることが多く、適切な因果関係を用いて、行動のモデルとして統合することが可能である。

4.2. 住宅内乳幼児事故の分析

筆者らの分析によれば、乳幼児のあらゆる事故には、乳幼児の認知・心理の側面、物理・行動の側面、生理の側面が関わっている。このことを説明するために、事故事例を挙げる。

『ジュースを飲もうと思ひ食器戸棚のコップを取り出そうとし、いつも自分が使っているプラスチック製のおもちゃが入るいすを踏み台にした。それでも届かずいすの上で背伸びをしてやっとコップに手が届いたが、その瞬間バランスを崩し、いすごとひっくり返り、打撲した。』

「ジュース」を飲みたいという意図を持ったこと (認知・心理の側面), 「いす」を使って、高いところに登ろうとしたこと (物理・行動の側面), 「歩く・上る」といった動作が可能な段階まで行動が発達していたこと (物理・行動の側面), 転倒の結果、床と体が衝突し、「打撲」が生じたこと (生理の側面), が読みとれる。本研究では、このような観点から、乳幼児の認知・心理の側面、物理・行動の側面、生理の側面を取り扱うことが可能な、乳幼児行動の計算論的モデルを作成している。

4.3. 開発した乳幼児行動の計算論的モデル

これまでに得られている乳幼児に関する様々な知

見をもとに、発達行動モデル、行動遷移モデル、環境の興味誘発モデル、タスクモデルを開発し、これらを統合することで、乳幼児行動モデルを試作した。図5に試作した乳幼児行動モデルを示す。認知・心理レイヤ、物理レイヤ、生理レイヤに分類されている。

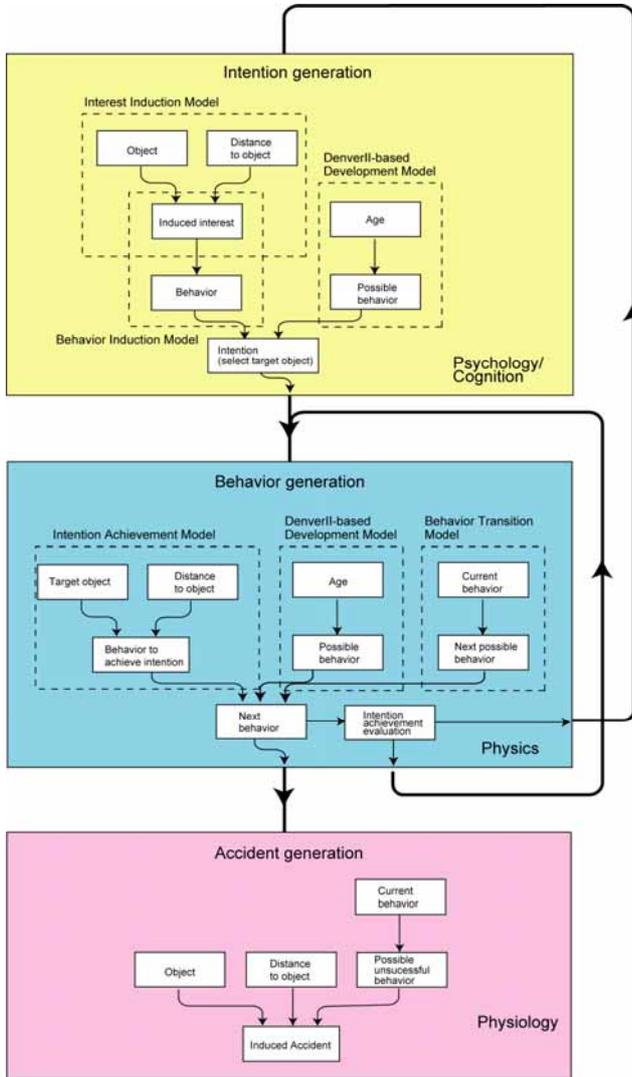


図5 乳幼児行動の計算論的モデル

認知・心理レイヤ：乳幼児の行動意図を導出するレイヤである。ある乳幼児の行動意図は、興味対象物と、その月齢で可能な行動によって規定されると考えられる。そこで、認知・心理レイヤを前述した興味誘発モデルと、発達行動モデルから構成した。興味誘発モデルから、 $P(\text{InterestObj}|\text{Distance}, \text{Object})$ を導出し、行動誘発モデルから、 $P(\text{Behavior}|\text{Object})$ を導出する。これと発達行動モデルから導出された $P(\text{Behavior}|\text{Age})$ から、行動意図（例 Grasp）を導出する。

物理・行動レイヤ：乳幼児の行動意図を実現するために実世界でとられる行動を導出するレイヤである。

タスクモデルと発達行動モデルと行動遷移モデルから構成される。タスクモデルを用いて、意図を達成するために必要な行動 $P(\text{Behavior}|\text{Distance}, \text{Object})$ を導出し、発達行動モデルから $P(\text{Behavior}|\text{Age})$ を導出し、行動遷移モデルから $P(\text{Behavior}_{\{t\}}|\text{Behavior}_{\{t-1\}})$ を導出し、これらをかけ合わせることで次の行動を導出する。これは、行動意図を実現するための行動のリストのうち、その月齢でとりうる行動であり、現在の状態から物理的に取りうる行動であるものを選択することに相当している。

生理レイヤ：実世界でとられた行動の結果どのような事故が生じるかを予測するレイヤである。ある行動をとろうとして失敗した場合に、相反する行動が出現することがある。例えば、Stand, Jump, Climb up に対する相反行動は、Fall であるという具合に、意図した行動と相反行動の関係をモデル化しておくことで、どのような行動が実際には、出現するのかが導出することが可能になる。さらに、そうした行動がある対象物の近傍で出現した場合に、どのような事故が生じるのかが予測することが可能となる。現在は、まだ、このレイヤは実現されていないが、事故データベースを構築すすめることで可能になると考えている。

4.4. 乳幼児行動モデルを用いたデジタルヒューマンコンテンツ

乳幼児行動の計算論的モデルに基づくデジタルコンテンツの応用として、教育支援のためのデジタルヒューマンコンテンツ、設計支援のためのデジタルヒューマンコンテンツなどが挙げられる。筆者らは、教育支援、安心で安全な環境の設計支援を念頭に、図6に示すような、仮想空間内で、我々の家庭環境や乳幼児の年齢に合わせて、起こりうる行動や事故を予知させてくれるシミュレータの開発を行っている。

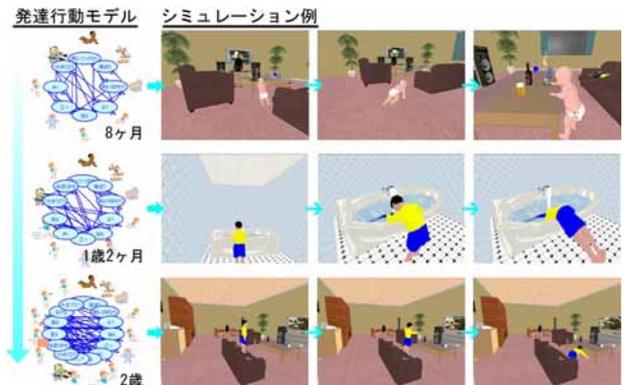


図6 年齢・環境のパラメータを与えることで事故を予知させるデジタルヒューマンコンテンツの例

筆者らは、乳幼児行動の計算論的モデルに基づくデジタルコンテンツが、これまで電子化され蓄積されてきたが、有効活用されることは無かった過去の事故事例の新しい活用例を示すことにつながると考えている。さらに、こうしたデジタルコンテンツが緒論で述べたような第4世代へと発展し、ユビキタス環境と連動するデジタルヒューマンコンテンツが可能となれば、乳幼児の実時間見守り支援への展開も考えられる。両親に対する事故予防教育のみでは事故が予防できないことは明白であるので、このような目が離せる環境の構築が望まれている。本稿では、乳幼児事故予防支援を例題としてデジタルコンテンツを述べたが、製造現場での作業員支援、老人ホームでの高齢者の見守り支援においてもほとんど同じような状況にあると考えており、デジタルヒューマンコンテンツの応用は広いと考えられる。

5. 結論

本稿では、人間のQOL向上に資するデジタルコンテンツを実現するには、現在の世代である電子化されたデジタルコンテンツを、次の世代である計算能力を備えたデジタルコンテンツへ発展させる必要がある。そのためには、デジタルコンテンツにおけるアルゴリズム・ハードウェア論のみならず、人間の計算論が必要であることを指摘した。本稿では、計算能力を備えたデジタルコンテンツの具体例として住宅内乳幼児事故予防のためのデジタルヒューマンコンテンツを取り上げ、筆者らが進めている乳幼児の計算論を構築する試みを述べた。また、このようなデジタルヒューマンコンテンツの展望を述べた。

デジタルコンテンツは個々の人間にとって魅力的でなければならない。筆者らにとっては、デジタルコンテンツの根底にある、計算機側の論理から人間側の論理への論理変換という、その存在意義が最も魅力的である。コンテンツとしてのこの重要な性質を見失わないためには、第2世代以降のどの世代のコンテンツであっても、デジタルコンテンツとは如何なる計算か、を常に問い続けることが必要であろう。

謝辞

筆者らは、乳幼児の発達行動に関する資料の提供と、乳幼児の事故事例の提供をして頂いた緑園子供クリニックの山中龍宏氏に感謝する。乳幼児の行動観察方法に関して、有用な意見を頂いた東京北社会保険病院の神山潤氏に感謝する。本研究の一部は、科学技術振興機構 戦略的基礎研究(CREST)、文部科学省 科学技術振興調整費、平成16年度笹川科学研究助成、及び、平成16年度セコム科学技術振興財団研究助成による助

成金の交付により実施された。

文 献

- [1] A. Ranganathan, S. Chetan, J. Al-Muhtadi, R.H. Campbell, M.D. Mickunas: "Olympus: A High-Level Programming Model for Pervasive Computing Environments", Proc. of 3rd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications(PerCom2005) (2005)
- [2] A.L. Wallis, B.E. Cody, A.D. Mickalide: "Report to the Nation: Trends in Unintentional Childhood Injury Mortality, 1987-2000", National SAFE KIDS Campaign(2003) (http://www.safekids.org/content_documents/nskw03_report.pdf)
- [3] 田中: "子ども事故防止マニュアル", 株式会社 診断と治療社(2003)
- [4] 山中: "子どもの事故予防へのアプローチ", 第4回日本赤ちゃん学会学術講演会プログラム抄録集, pp. 16-17(2004)
- [5] Victorian Injury Surveillance and Applied Research System
<http://www.monash.edu.au/muarc/VISAR/>
- [6] 社団法人 日本小児保健協会: "ENVER 11 -デンバ-発達判定法-", 日本小児医事出版社(2002)
- [7] 田中, 田中, 子どもの発達と診断 1 乳児期前半, 大月書店(1981)
- [8] 八藤後, "乳幼児の身体特性に基づいた住宅内事故防止のための建築安全計画に関する研究", 日本大学大学院理工学研究科博士論文, 2003
- [9] R. Fox, R.N. Aslin, S.L. Shea, S.T. Dumais, : "Stereopsis in Human Infants", Science, Vol. 207, pp. 323-324(1980)
- [10] A. Yonus, C.E. Granrud : "Infants Distance Perception from Linear Perspective and Texture Gradients", Infant Behavior & Development, Vol. 9, pp. 247-256(1986)
- [11] T. Wilcox : "Object Individuation: Infants' Use of Shape, Size, Pattern, and Color", Cognition, Vol. 72, pp. 125-166(1999)
- [12] J. Kaufman, D. Mareschal, M.H. Johnson: "Graspability and Object Processing in Infants", Infant Behavior & Development, Vol. 26, pp. 516-528(2003)
- [13] 西田, 相澤, 北村, 堀, 柿倉, 溝口: "センサーームを用いた人の日常活動の頑健な観察とその応用", 情報処理学会研究報告, 2003-HI-106, pp. 37-44(2003)
- [14] Y. Nishida, K. Kitamura, T. Hori, A. Nishitani, T. Kanade, H. Mizoguchi : "Quick Realization of Function for Detecting Human Activity Events by Ultrasonic 3D Tag and Stereo Vision", Proc. of 2nd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications(PerCom2004), pp. 43-54(2004)