

# Active aging を支援する新しい予防医学システムの開発

—高齢者の認知機能とストレスの非侵襲的評価法の研究開発—

酒谷 薫、村山優太、胡 莉珍

日大工・電気電子

高齢化社会の進展に伴い、認知症、老人性うつ病など高齢者特有の疾患が急増しており、Active aging を達成するためには高齢者の脳と心の障害を予防する技術は極めて重要である。そこで、脳と心の健康状態（ストレス、認知機能）を非侵襲的に評価、診断するシステムの開発を行った。

## 【1】時間分解近赤外スペクトロスコピー (TNIRS) による高齢者認知機能障害の評価法

今年度は、近赤外分光法の一種である時間分解分光法 (Time resolved Near Infrared Spectroscopy: 以下 TNIRS) を用いて、高齢者の認知機能障害の定量評価方法について検討した。TNIRS は、ピコ秒パルス光と光拡散方程式を用いて、安静時のヘモグロビン (Hb) 濃度の絶対値を計測することが可能である[1]。

### 1. 方法

対象は、脳外科外来患者 78 名 (男性 41 名 女性 37 名、平均  $71.5 \pm 10.7$  歳)。TNIRS 測定プローブは両側前額部に設置し、前頭前野の安静時ヘモグロビン (Hb) 濃度 ( $\mu\text{M/L}$ )、及び酸素飽和度 (%) を計測した (図 1)。

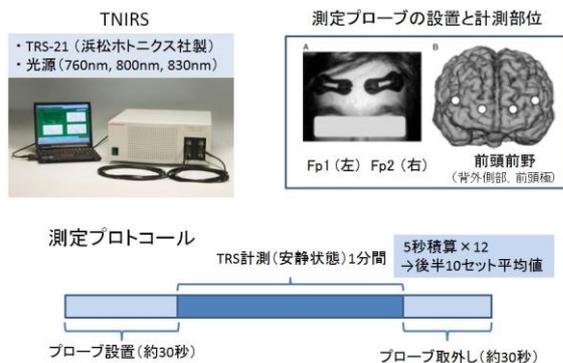


図 1 TNIRS による脳機能計測及び実験プロトコール

認知機能は、Mini Mental State Examination (MMSE) 及び作業記憶評価支援システム (タッチエム、ヒューマン社製) を用いて検討した。

### 2. 結果

被験者の平均 MMSE スコア (0~30) 及びタッチエムスコア (0~100) は、各々  $25.3 \pm 4.0$ 、 $41.3 \pm 22.1$  であった。被験者の年齢と MMSE 及びタッチエムスコアの間には有意の相関関係が認められた。さらに、MMSE とタッチエムスコアの間にも有意な相関関係が認められた (図 2)。

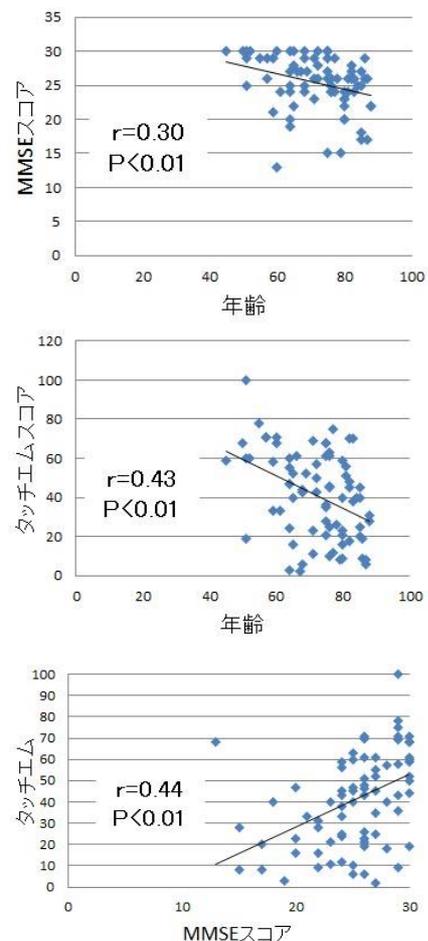


図 2 年齢と MMSE (上)、タッチエム (中) の関係及びタッチエムと MMSE の関係 (下)

TNIRS による安静時酸素化 Hb ( $r=0.26, p<0.02$ )、及び酸素飽和度 ( $r=0.23, p<0.05$ ) はタッチエムスコアと有意な正相関を認めた (図 3、4)。

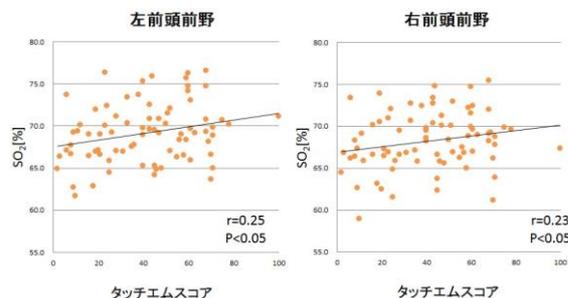


図 3 タッチエムスコアと左右前頭前野の安静時酸素飽和度の相関関係

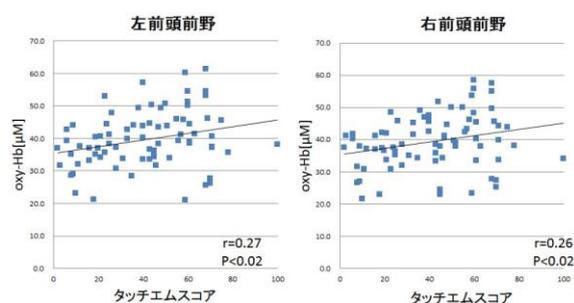


図 4 タッチエムスコアと左右前頭前野の安静時酸素化 Hb (oxy-Hb) 濃度の相関関係

一方、MMSE スコアと酸素飽和度 ( $r=0.23, p<0.05$ ) は有意の相関関係を認めたが (図 5)、Hb 濃度との間には認めなかった。

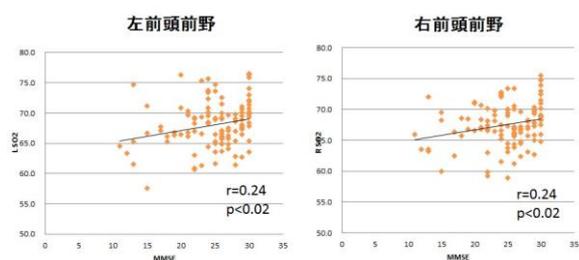


図 5 MMSE スコアと左右前頭前野の安静時酸素飽和度の相関関係

### 3. まとめ

本研究結果は、TNIRS による前頭前野の安静時 Hb 濃度計測が認知機能 (作業記憶) を客観的に評価できる可能性を示唆している。前頭前野の安静時酸素化 Hb 濃度は、作業記憶を評価するタッチエムスコアと有意の相関関係を示したが、MMSE スコアとは有意の相関関係を認めなかつ

た。作業記憶は前頭前野が重要な役割を果たしているが、MMSE は前頭前野以外に大脳皮質のさまざまな領域が関与しており、タッチエムと MMSE の機能局在の差異が相関関係に影響した可能性が示唆された。TNIRS は非侵襲的かつ簡便な計測法であり、高齢者の作業機能など、前頭前野が関与する認知機能障害の客観的評価法への応用が期待される。

## 【2】3D モーションキャプチャーと NIRS を用いたストレス評価法の研究開発

本研究では、NIRS と同時にゲーム用 3D モーションキャプチャーによる呼吸数の計測を行い、ストレスを与えた時の各パラメータの変化を調べ、ストレス状態の客観的評価を試みた。

### 1. 方法

NIRS に PocketNIRS(ダイナセンス社製)、3D モーションキャプチャーには Kinect (Microsoft 社製) を用いた。呼吸数測定に使用した Kinect のプログラムは、インターネット上に公開されているプログラムを改良し、実験に使用した [2]。図 6 に測定方法を示す。

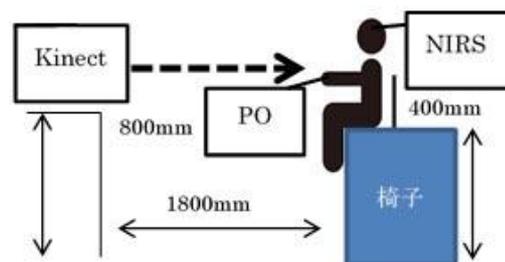


図 6 測定方法

被験者として男子学生 20 名 (平均  $21.7 \pm 0.6$  歳) を対象とした。被験者は Kinect センサーに対して正面を向くように座り、両側前額部に Pocket NIRS の測定プローブ、左手薬指にパルスオキシメータ (PO) を装着し、同時測定した。実験プロトコルは、安静 1 分→ストレス課題 1 分→安静 1 分とした。ストレス課題には、4 桁の引き算

(例:3058 から 29 を繰り返し引く) を行った。

NIRS によって得られたデータから脳内 Hb 濃度変化の左右前頭前野の優位性である LIA

(Laterality Index during Activation) を求めた。

LIA < 0 は左側優位、LIA > 0 は右側優位を表す。

踏算時変化量 = 踏算時の平均 - 安静時 (前) の平均

$$LIA = \frac{(CH1 \text{ 踏算時変化量} - CH2 \text{ 踏算時変化量})}{(CH1 \text{ 踏算時変化量} + CH2 \text{ 踏算時変化量})}$$

CH1 は右側、CH2 は左側である。

LIA と呼吸数の相関関係を図 7 に示す。標本相関係数  $r$  は 0.582、 $p < 0.02$  となり、有意な正相関関係が認められた。

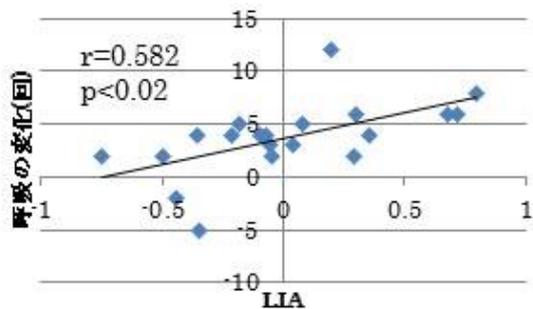


図 7 LIA と呼吸数の相関関係

### 3. まとめ

本結果は、ストレス課題によって右前頭前野が左前頭前野よりも強く活動する被験者ほど、呼吸数の上昇程度が大きいことを示している。この変化は、ストレス課題時の前頭前野の左右優位性と心拍変化の関係と一致している [2, 3]。キネクトによる呼吸数計測と NIRS 計測を組み合わせることに、ストレスに対する自律神経系と脳ストレスを簡便かつ客観的に評価できる可能性がある。

### 参考文献

- [1] 酒谷 薫 次世代 NIRS—時間分解 NIRS (TRS) による脳循環と脳機能計測 Clinical Neuroscience, 33:716-718, 2015
- [2] 酒谷 薫 :NIRS—基礎と臨床—, ストレスの評価, 161-163, 株式会社新興医学出版社, 2012
- [3] Sakatani K: Optical diagnosis of mental stress: review. Adv Exp Med Biol. 2012;737: 89-95

# Active aging を支援する新しい予防医学システムの開発

—非薬物療法による認知機能改善とストレス緩和効果—

酒谷 薫、村山優太、胡 莉珍

日大工・電気電子

高齢化社会の急速な進展に伴い、認知症や老人性うつ病など高齢者特有の精神神経疾患が急増しているが、医学的研究が進んでいる現在でも、これらの脳疾患を薬物療法により予防・根治することは出来ていない。一方、近年、運動療法やアロマセラピーなどの非薬物療法が認知症やうつ病に治療効果があるとの報告が散見されるようになった。我々の研究グループも運動療法 [1]、アロマセラピー [2]、鍼灸がストレスを緩和し [3]、認知機能を向上させる効果があることを報告してきた。本年度は、化粧療法及び手話コーラスの効果について検討した。

## 【1】 高齢女性の認知機能に対する化粧療法の効果

高齢化社会の進展に伴い、認知症が急増しているが、特に女性の高齢者人口に占める割合は高く、また認知症の発症率も高いため、女性に適した予防治療法を開発することは重要である。本年度は、高齢女性の認知機能に対する化粧の効果に着目し、その神経基盤を明らかにし、化粧療法を女性高齢者の脳機能活性化法として確立することを目的とした。化粧療法は、化粧の覚醒作用、疲労回復などの心理的効果を利用し、認知症などの精神的ケアを行う方法として臨床現場で高齢女性のケアのひとつとして実施されてきた。我々は、要介護の女性高齢者に対する化粧療法の長期的効果について認知機能検査 MMSE (Mini Mental State Examination) を用いて検討し、3ヶ月間のフォローアップ期間中に化粧療法を行わないコントロール群ではMMSEスコアは低下

したが化粧療法群では低下せず、化粧療法に認知症の予防効果が認められた。本年度は、時間分解近赤外分光法 (Time resolved Near Infrared Spectroscopy: 以下 TNIRS) による脳機能計測法を用いて、化粧療法の神経基盤について検討した [4]。

### 1. 方法

対象は、高齢女性 61 名 ( $82.2 \pm 6.3$  歳) : 軽度認知症 29 例 (MMSE  $24.1 \pm 3.8$ ) 及び中等度認知機能障害 ( $10.3 \pm 5.8$ )。TNIRS には、TRS-20 (浜松ホトニクス社製) を使用し、化粧療法 (約 50 分) の前後に両側前頭前野の安静時ヘモグロビン (Hb) 濃度を計測した。化粧療法中は測定プローブを前額部から外した。さらに、ストレスの指標として唾液中コーチゾールを化粧療法前後で計測した。

### 2. 結果

軽度障害例では、化粧療法により前頭前野の安静時酸素化 Hb 濃度が有意に上昇した (図 1)。興味深いことに、左側が右側よりも上昇程度が有意に大きかった。一方、中等度障害例では化粧療法による Hb 濃度変化は認めなかった。

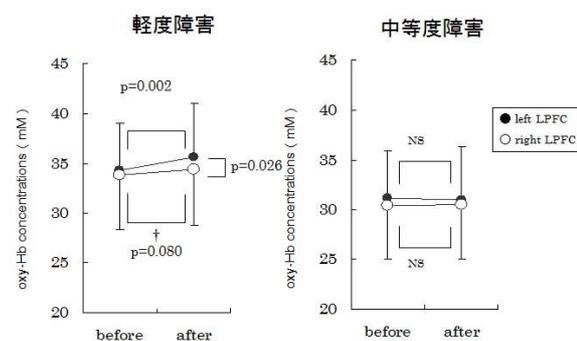


図 1 化粧療法による前頭前野の安静時酸素化 Hb 濃度の変化

ストレス指標となる唾液中のコーチゾール濃度は、軽度障害例、中等度障害例ともに、化粧療法後に有意に低下した（図2）。

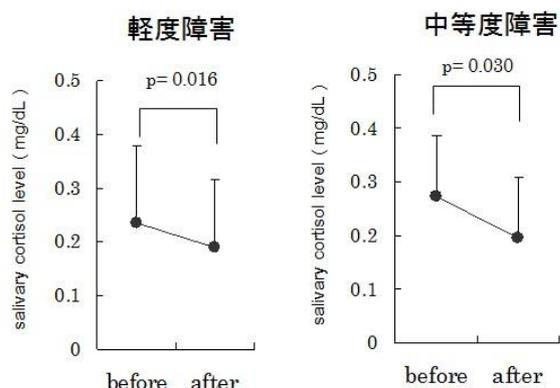


図2 化粧療法の唾液中コーチゾール濃度に対する影響

### 3. まとめ

本研究は、化粧療法により高齢女性の前頭前野の脳機能が活性化することを示唆している。特に、左側優位に上昇することは、**左前頭前野がポジティブな感情を司り、またストレス耐性が高い**という研究結果とも一致していると思われる [5]。また、中等度の認知機能障害例では化粧療法の前頭前野活動に対する効果が認められなかったことは、化粧療法の限界を示唆している上で重要である。

## 【2】手話コーラスによるストレス緩和効果

本研究では、手話コーラスのリラクゼーション効果に着目した。手話コーラスは歌に合わせて手話をするものでレクリエーションの一環として行われおり、また歌を歌いながら手話をすることによって高いリラックス効果が得られると期待されている。そこでNIRSを用いて手話コーラスによる脳血液中のHb濃度変化を測定することによって、手話コーラスの効果を脳機能測定の観点から検討した。

### 1. 方法

学生（男性19名 女性16名、平均21.1±1.05歳）

を対象とした。図3の実験プロトコルに従い、手話コーラス（40分）の前後においてSTAI（State-Trait Anxiety Inventory）による不安心理状態の計測及びNIRS計測を行った。

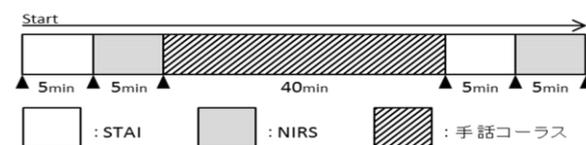


図3 実験プロトコル

本研究では、NIRSはPocketNIRS Duo（ダイナセンス社製）を使用した。NIRSから得たデータによって、安静時の脳内ヘモグロビン濃度変化の左右前頭前野の優位性であるLIR(Laterality Index at Rest)を求めた。

$$LIR = \frac{(\text{安静時右変動量} - \text{安静時左変動量})}{(\text{安静時右変動量} + \text{安静時左変動量})}$$

LIR<0は左側優位、LIR>0は右側優位を表す。

左側優位はリラックス状態、右側優位はストレス状態を示す [5]。

### 2. 結果

手話コーラス後ではSTAI-1（状態不安）は有意に減少した（p<0.01）。

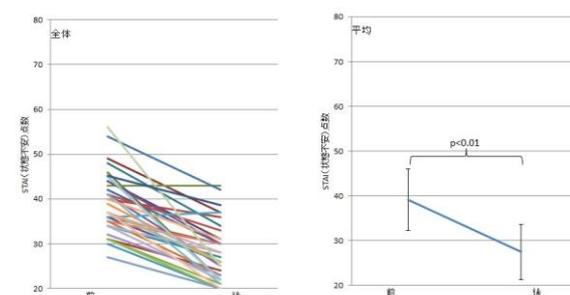


図4 手話コーラス前後のSTAI-1（状態不安）の変化 左：全症例の変化、右：平均値の変化

さらに手話コーラスを行うことにより、LIRが有意に減少した（p<0.03）（図5）。このことは、手話コーラス後には前頭前野の活動バランスが変化し、左側優位に変化していることを示している。一方、コントロール群（40分間、安静状態）では、STAI及びLIRともに有意に変化しなかった。

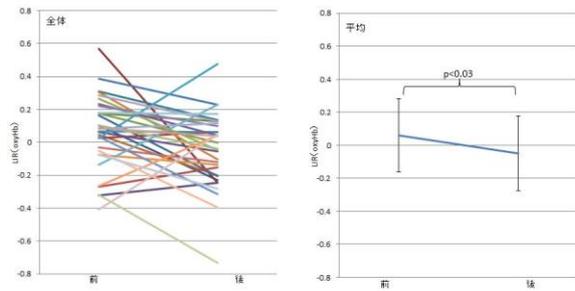


図5 手話コーラス前後のLIRの変化  
左：全症例の変化、右：平均値の変化

### 3. まとめ

手話コーラスのリラックス効果は、前頭前野の活動パターンを右優位から左優位へ変化させることによるものと推察される。手話コーラスは簡便で副作用もなく、新しい非薬物的ストレス緩和療法になる可能性があると考えられた。

### 参考文献

- [1] Tsujii T, et al. Acute effects of physical exercise on prefrontal cortex activity in older adults: a functional near-infrared spectroscopy study. *Adv Exp Med Biol.* 2013;765:293-8.
- [2] Tanida M, et al. Effects of fragrance administration on stress-induced prefrontal cortex activity and sebum secretion in the facial skin. *Neurosci Lett.* 2008 Feb 20;432(2):157-61.
- [3] Sakatani K, et al. Effects of Acupuncture on Anxiety Levels and Prefrontal Cortex Activity Measured by Near-Infrared Spectroscopy: A Pilot Study. *Adv Exp Med Biol.* 2016;876:297-302.
- [4] Machida A, et al. Effects of Cosmetic Therapy on Cognitive Function in Elderly Women Evaluated by Time-Resolved Spectroscopy Study. *Adv Exp Med Biol.* 2016;876:289-95.
- [5] Ishikawa W, et al. Correlation between asymmetry of spontaneous oscillation of hemodynamic changes in the prefrontal cortex and anxiety levels: a near-infrared spectroscopy study. *J Biomed Opt.* 2014 Feb;19(2):027005.

# Active aging を支援する新しい予防医学システムの開発

—ICT を活用した健康管理システムの研究開発と実証実験—

酒谷 薫、村山優太、佐藤 豊、宗像忠夫、薄井英行、胡 莉珍、嶋田 聡

日大工・電気電子

少子高齢化の急速な進展により、2025 年には団塊世代が 75 歳以上に達し、社会保障費の急増が懸念されている（2025 年問題）。このため健康増進により健康寿命を延ばすことが重要である。すなわち“未病”の段階で運動食事療法を中心とした非薬物療法により健康を回復させ、病気を予防することが必要である。このために、センサー技術や ICT 技術を活用し、家庭などで継続的に健康状態をモニターできる“次世代ヘルスケア支援サービスネットワーク”を構築することが必要である。本システムは、医療機関の受診を伴わないので医療費抑制効果が期待できる。

## 【1】 高齢者の ICT ヘルスケアシステムの研究開発

本研究では、ICT による遠隔管理が可能な高齢者のヘルスケアシステムを開発した。本システムは、看護師などの第三者もリアルタイムにセンサーから得られる情報のモニターが可能、少ない工事費用で情報を管理できる等の特徴がある。

### 1. 方法

1-1 睡眠時生理機能モニター（図 1）：本システムは、12 個の圧電センサーを用いて、独自のアルゴリズムにより、睡眠時の呼吸数・心拍数・体動・離床の状態をモニターできる。



図 1 モニターシステム外観（上）、内部（下）

1-2 通信システム：本モニター装置から得られたデータを近距離無線通信規格である **Wireless Smart Utility Network (Wi-SUN)** にて送信する。図 2 に通信実験に使用したモジュールを示す。

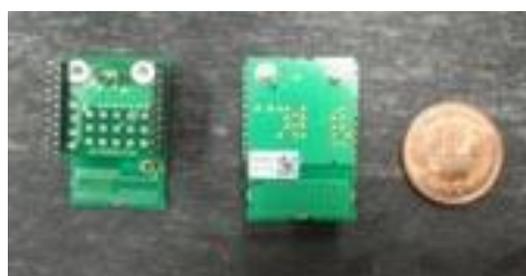


図 2 Wi-SUN モジュール（右は 10 円玉）

Wi-SUN は、サブギガヘルツ帯（900MHz 前後）の周波数帯で通信できる無線通信規格の 1 つで、最長 500m 程度の距離を数百 kbps の速度で通信することが可能である。センサーや組み込み機器で利用しやすいよう消費電力を極力削減できる仕様になっている。

### 2. 結果

図 3 に本モニター装置から得られたデータを示す。

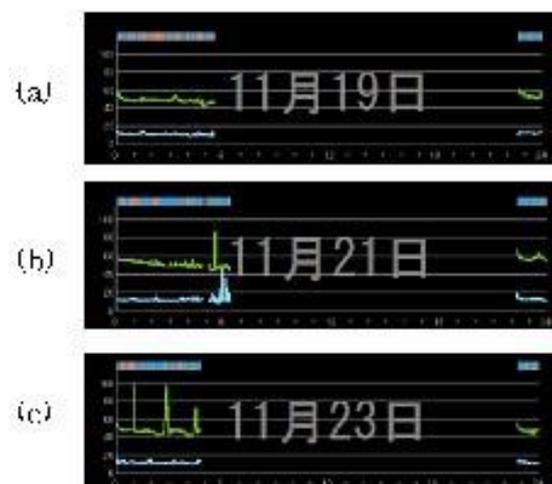


図 3 本モニターによる夜の睡眠状況の違い

(a) 呼吸数、心拍数が共に安定していることから良質な睡眠をしていたと思われる。(b) 離床時に一致して呼吸、心拍が計測できない部分が存在した。(c) 呼吸、心拍が乱れていることから浅い睡眠を続けていたものと推察できる。

### 3. まとめ

少子高齢化による高齢者の急増により、介護従事者の稼働内容に対する身体的・精神的負担も増大している。その理由として、1) 身体機能低下により介護が必要な高齢者に対して必要な介護が行える時間が制限されている（特に夜間帯）、2) 高齢者の睡眠が浅く、夜間の見回りが頻回に必要であること、等が挙げられる。本モニターシステムは、**介護従事者の負担を軽減**し、離職率の提言に貢献できると期待している。

## 【2】 郡山市における ICT ヘルスケアシステムの実証試験

郡山市と連携し、平成 28 年 1 月より市内のモデル地区において、前述の ICT ヘルスケアシステムの有効性について**小規模実証可能性調査 (FS)**を開始した。

### 1. プロジェクト概要

対象は郡山市市営住宅の住居者 30 名とした。

次の 3 種類のセンサーを使用した。

(1) 睡眠センサー (24 時間見守り) (前述)

(2) 水道メータセンサー (24 時間見守り)

(3) NIRS 脳血流センサー

水道メータセンサーは、電子メータを用いて水道の使用量より住居者の安否確認を行うものである。すなわち、水道使用が長時間途絶えたり、逆に継続する場合には、何らかの事故が発生したものと推察できる。**NIRS 脳血流センサー**は、**前頭葉の脳活動に伴う脳血流変化を計測する装置**で、ストレスや認知機能障害を評価できる [1, 2]。

10 世帯では水道メータセンサーと睡眠センサー

を設置し、20 名は睡眠センサーのみ設置した。

なお、NIRS による測定は、随時 (1 週～1 ヶ月毎) 実施するものとした。



図 1 プロジェクト概念図

### 2. モニタリング内容

① 日中：水道の使用状況から生活リズムを分析  
・起床から洗顔、食事、トイレ、家事、入浴など。

・認知症では入浴回数の減少傾向を観測する。

② 夜間：睡眠センサーで睡眠状況（心拍、体動等）をチェック

・良質の睡眠が取れ、十分に休息できているか睡眠傾向を評価する。

③ 随時：NIRS で認知症、ストレス評価

・随時、NIRS にて脳血流を測定することで、個人の認知機能、ストレス耐性を検査する。

④ 収集データを統合し、ヘルスケアシステム計測データより、健康長寿に向けたアドバイス

### 3. 取り組み体制

産官学連携体制で、色々な視点から課題・アイデア・ニーズ・シーズ等を収集する郡山モデル研究グループを形成する (図 2)。

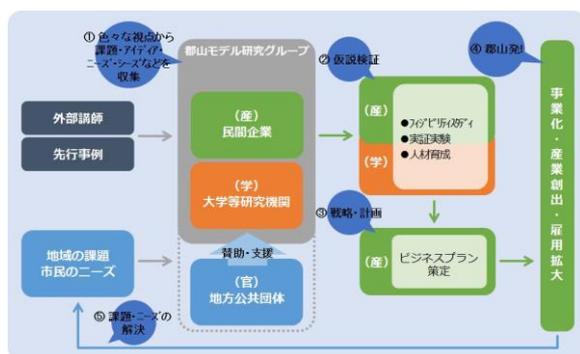


図 2 取り組みスキーム

仮説検証にむけて、FS、実証実験、及び人材育成を行う。戦略・計画については参加企業が担当し、ビジネスプランを策定する。さらに郡山発のモデルとして全国、海外に発信できるように課題・ニーズの解決を地域市民と共に進めていく。

#### 4. ICT システム

図4にデータフローを示す。各センサーのデータは、住居内のホームゲートウェイからインターネット上のクラウドに集積され24時間見守られると同時に、データ分析後に評価結果を通知される。

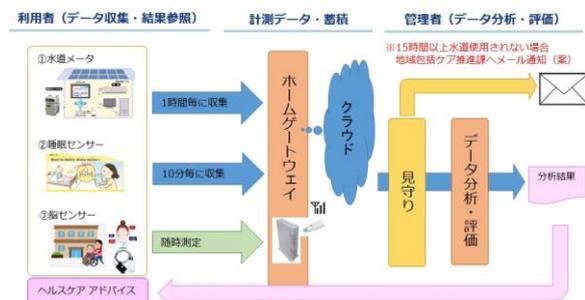


図4 データフロー

図5に見守りシステムの施工スキームを示す。電子水道メータは、既存のアナログ水道メータに直列で接続する。

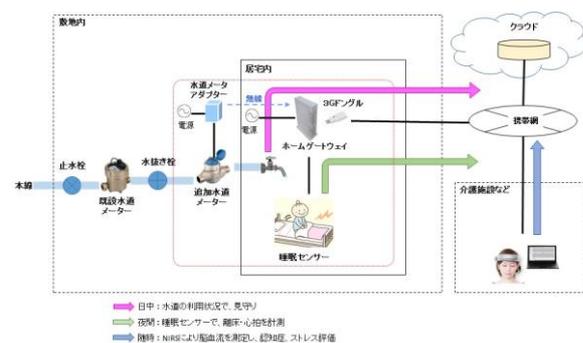


図5 見守りシステムの施工スキーム

#### 5. 課題設定

本プロジェクトを課題設定を示す。

- ① 健康寿命の延伸に向けた個々人の健康（ヘルスケア）意識向上への動機づけ手段の確立。
- ② 独居老人等の見守り、孤独死や体調変化の早期発見。未病と予防医学。

- ③ システム導入による効果と課題抽出。
- ④ 高齢者に係る医療費低減に向けた取りまとめ、郡山市財政と経済効果を予測。
- ⑤ 認知症初期集中支援チームとの連携体制の構築：認知症の初期段階では、入浴回数が減るなど水道水の利用が減少することが統計的にわかっており、長期間継続して測定することで、生活リズムから傾向をはかる。

#### 【3】 NGN を活用した在宅医療の遠隔支援システム

NTTの次世代ネットワーク（NGN）を用いて、遠隔で在宅医療を支援するシステムを考案した（特願 2016-061513）[3]。具体的には、NGNを介して家庭内に設置したテレビカメラにより24時間監視し、自動動画解析により患者の異常を察知すると患者家族と主治医にアラームを送るシステムである（“バーチャルホスピタル”）。さらに、本システムを用いて患者家族や訪問看護におけるケアを遠隔にて指導する“テレケア”も行うことができる（図6）。

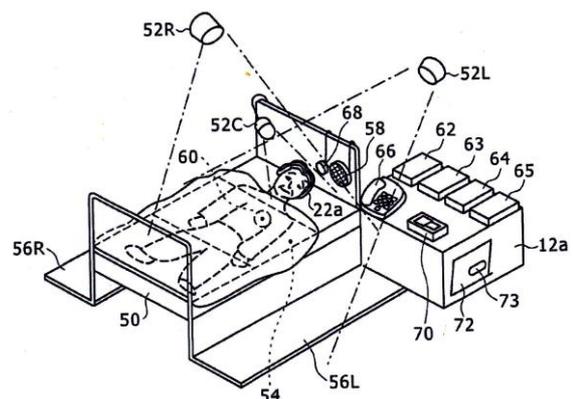


図6 テレビカメラに遠隔介護システム概念図

在宅医療を担当している医師や看護婦は、日常業務に忙殺されており、本システムのモニタリング担当者には適していない。そこで、全国の子育てなどで休職中の医療有資格者(医師、看護師など)を募集し、空き時間に在宅医療モニタリングを担

当してもらシステムを構築する（図7）。

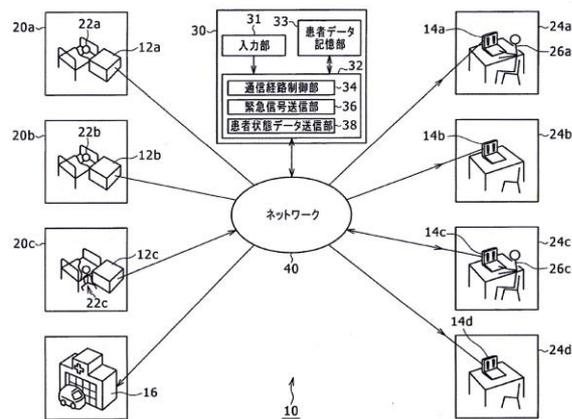


図7 複数のモニタリング担当者による在宅医療支援システム（概念図）

本システムの特徴として次の2点が挙げられる。

- ① **NGN** を介することにより、**高いセキュリティ**と**高速通信**が可能となる。
- ② モニタリング担当者を全国の**休職中の医療有資格者（医師、看護師など）**とすることにより**休職中の人材を活用**できる。

### 参考文献

- [1] 酒谷 薫:NIRS—基礎と臨床—, ストレスの評価, 161-163, 株式会社新興医学出版社, 2012
- [2] Sakatani K: Optical diagnosis of mental stress: review. Adv Exp Med Biol. 2012;737: 89-95
- [3] 特願 2016-061513 件名「遠隔患者支援システム」  
提出日 平成 28 年 3 月 25 日 発明者 酒谷 薫、  
嶋田 聡、宗像忠夫 出願人 日本大学

# 災害に強い医療情報ネットワークの開発

見越 大樹<sup>1)</sup>  
1) 日大工・情報

## 1 はじめに

近年、無線端末をマルチホップで接続することで、地理的に離れた無線端末間の通信を実現するマルチホップ無線ネットワークが注目されている。マルチホップ無線ネットワークは、端末間をマルチホップで中継することで目的地までデータを届けるため、災害時において通信インフラが断絶した場合においても通信が可能であり、耐故障性に対して優れたネットワークである。

我々は災害に強い医療情報ネットワークの実現のために、マルチホップ無線ネットワークを利用する。図1に想定するネットワーク形態を示す。集会所や家庭に血圧計などの医療機器と無線端末（ホームゲートウェイ）があり、医療機器にはBluetoothが搭載されている。ホームゲートウェイはBluetoothで医療機器から情報を受信して、インターネット上の情報管理サーバに情報を送信する。ホームゲートウェイから情報管理サーバへの接続は3つの形態を想定している。1つ目は光ネットワーク、2つ目はセルラーネットワーク、3つ目はマルチホップ無線ネットワークである。光ネットワークとセルラーネットワークは、通常時の接続形態であり、マルチホップ無線ネットワークは非常時の接続形態である。なお、光ネットワークとセルラーネットワークについては、既設の通信インフラを利用して接続される。一方、マルチホップ無線ネットワークについては、ネットワークを新たに開発する必要がある。

マルチホップ無線ネットワークの適用例としてセンサネットワーク [1][2][3][4] が注目されており、センサネットワークでは、無線通信機能を有したバッテリー駆動型センサ端末（以下、ノード）により、温度・湿度といった環境情報等をモニタリングする。我々は、センサネットワークにおける経路構築およびデータ収集手法を災害に強い医療情報ネットワークへ適用することを考えている。しかし、端末（以下、ノード）はバッテリーで駆動しているため、データ送受信時における消費電力を低減し、

ネットワークの稼働時間を長くすることが重要な課題である。特に、マルチホップ通信を行うセンサネットワークでは、データ中継回数の多いノードほど、多くの電力が消費される。そのため、データ中継回数の削減を図れるクラスタリング手法 [1] が提案されている。

クラスタリング手法では、隣接ノード間でクラスタを形成し、クラスタ内の代表ノードであるクラスタヘッド（以下、CH）を決定する。CHは、クラスタ内のノードからセンサデータを収集し、CH間でマルチホップ通信を行い、シンク（基地局）にセンサデータを送信することで、センサネットワーク全体で消費される電力の低減を図っている。

クラスタリングの実現手法として、我々はこれまでにPARC (Power Aware Routing and Clustering scheme for wireless sensor networks)[2] を提案した。PARCでは、クラスタリングとルーチングを同時に行うことで、制御パケットによる消費電力の削減を図っている。残余電力量をメトリックに用いてCHの選択を行い、CHとシンク間の経路を定期的に再構築することにより、端末負荷の分散を図り、ネットワークの長寿命化を行っている。

しかし、PARCの評価は計算機シミュレータによる検証を行ったのみで、実機の無線デバイスを用いた評価は行っていない。このため、実機実験を行い実環境において利用可能な方式に改良する必要がある。

本稿では、PARCの紹介を行うと共に、実機を用いた通信実験の紹介を行う。

## 2 PARC

PARCは、CHをネットワーク内に均一に配置し、CH間の負荷分散を図るとともに、クラスタリングによるデータの集約によりデータ中継回数を削減し、消費電力の削減を図っている。以下に、PARCのクラスタリング・ルーチング手法を説明する。

### 2.1 クラスタリング・ルーチング手法

各ラウンド（クラスタリング構築周期）開始時、シンクは出力小の電波で、スレープ制御パケットを送信する。スレープ制御パケットには、シンクのノードIDが含まれている。スレープ制御パケットを受信したノードは、シンクのスレープノードとなり、電力の消費を抑えるため即座に送受信機の電源を切る。シンクは、出力小でスレープ制御パケットを送信した後、即座に出力大でRREQ (RouteRequest) パケットを送信する。RREQには、送信元ノードID、parentID (転送元ノードID)、中継ホップ数、シーケンス番号が含まれている。RREQを受信したノードは、タイマをセットする。タイマ値は、

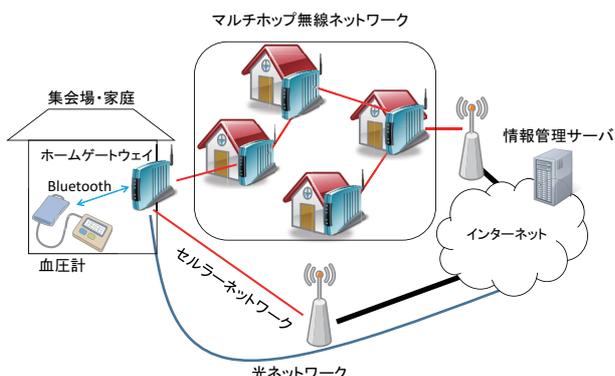


図1 想定するネットワーク形態

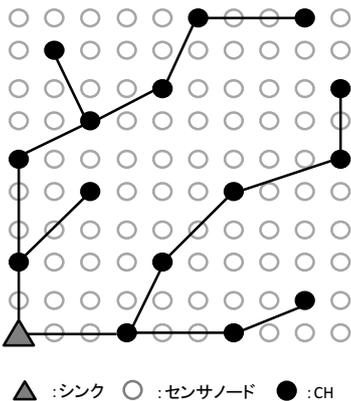


図2 PARCによって構築された経路

初期バッテリー量と自身の残余電力量の比率となる。このタイマが最初にタイムアウトしたノードがCHとなる。CHとなったノードは、シンクと同様にスレープ制御パケット、RREQを送信する。もしタイマ稼働中のノードが、CHとなったノードからの同一シーケンス番号のRREQを受信した場合、当該ノードは、RREQを送信したCHのスレープノードとなり、タイマをリセットする。また、同一シーケンス番号のRREQを複数受信した場合、最も早く受信したCHのスレープノードとなる。CHが、RREQをフラディングしてから一定時間経過後、同一シーケンス番号のRREQを再度受信しない場合、そのCHは外縁CHとなり、RREP (RouteREply) をシンクまで返送する。各CHは、自身の保持するparentIDノードにRREPを返送していくことにより、sinkから外縁CHまでの経路が構築される。また、PARCにおいて、一定周期ごとにクラスタの再構築を行うことで特定のノードに負荷が集中することを防いでいる。

図2に構築された経路を示す。シンクから各CHを繋いだツリー状のネットワークが構築される。また、CH周辺のセンサノードは近傍のCHへ自身のセンシングデータを送信する。

### 3 実機による通信実験

通信実験において、現段階では、機器の使用方法の調査および簡易的なネットワークの構築まで完了している。以下に、通信機器の詳細および通信実験の詳細を述べる。

#### 3.1 実験機器

通信機器には、図3に示すDigi International社のXBee ZB RFモジュール(以下、XBeeモジュール)[5]を用いた。XBeeモジュールは幅3cm、長さ4cm、高さ1cm(アンテナ部除く)の小型端末であり、2.4GHz及び900MHzの帯域にて通信が可能である。また、XBeeモジュールは16進数16桁で表現されるユニークなアドレスを保有する。XBeeモジュールはATコマンドと呼ばれるメッセージをシリアル通信により投入することで制御可能である。ATコマンドには、通信に使用するチャネル



図3 XBee ZB RF モジュール



図4 Arduino Uno



図5 XBeeモジュールとArduinoの連結形態

の変更、自身のアドレスの取得、他端末へのデータの送信などが用意されている。また、XBeeモジュールはAPIモードと呼ばれるモードがあり、APIモードではATコマンドやデータの送信リクエストを各命令のフォーマットに従った形で投入することで命令が実行される。XBeeモジュールを制御するデバイスとして、AVRマイコンボードである図4のArduino Uno [6]を用いた。図5に示すように、XBeeモジュールはArduino Unoと容易に連結が可能である。Arduino UnoからXBeeモジュールを制御するライブラリも用意されており、Arduinoに独自に開発したソフトウェアを実装することで、クラスタリングを行うセンサネットワークを構築可能となる。開発においてはC言語などの高級言語で開発が可能であるため、比較的容易に開発が可能である。

#### 3.2 通信実験

通信実験において、パソコンをシンクとして動作させ、XBeeモジュールを搭載させたArduino Unoを3台配置

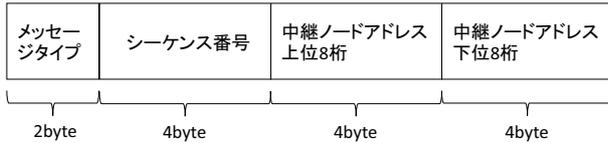


図 6 中継ノード探索メッセージフォーマット

し、ネットワークを構築した。なお、今回の通信実験では、XBee モジュール 3 台でネットワークを構築することのみを対象としており、PARC の実装は行っていない。

実験において、XBee モジュールの制御に用いたコマンドを以下に記す。

ATSH : 自身のアドレスの上位 8 桁を取得

ATSL : 自身のアドレスの下位 8 桁を取得

ATDB : 直前に受信した信号の電波強度である RSSI 値を取得

ネットワークを構築するために、図 6 のフォーマットにより構成される中継ノード探索メッセージを定義した。メッセージタイプには、中継ノード探索メッセージを表す値であり、今回の実験においては 0x000B を設定した。シーケンス番号は処理を管理する通し番号であり 0x00000000~0xFFFFFFFF の値をとる。中継ノードアドレスには、ATSH や ATSL コマンドにより取得した値を用いる。実験において行ったネットワークの構築手順を以下に示す。

- 1) シンクが自身のアドレスを設定した中継ノード探索メッセージを送信。
  - 2) 中継ノード探索メッセージを受信したノードは、RSSI を基に以下の (a)-(c) の動作を行う。
    - (a) RSSI が閾値  $th_H$  以上 : メッセージを送信したノードの子ノードに遷移。
    - (b) RSSI が閾値  $th_H$  未満かつ  $th_L$  以上 : メッセージを送信したノードの子ノードかつ中継ノードに遷移。
    - (c) RSSI が閾値  $th_L$  未満 : メッセージを廃棄。
- なお、閾値は  $th_H > th_L$  とする。すでに中継ノードに遷移済みのノードが古いシーケンス番号の中継ノード探索メッセージを受信した場合はメッセージを破棄する。
- 3) 中継ノードに遷移したノードは、自身のアドレスを設定した中継ノード探索メッセージを送信。
  - 4) 中継ノード探索メッセージを受信するノードがなくなるまで 2)~3) の動作を繰り返す。

これらの手順およびコマンドにより構築されたネットワークが図 7 となる。シンクの最近傍であるノード 1 は、シンクの子ノードに遷移し、ノード 2 は中継ノードに遷移している。さらに、ノード 2 が中継ノード探索メッセージを送信することで、ノード 3 はノード 2 の子ノードに遷移している。このようにノード 2 が中継ノードとなることで、すべてのノードが接続されたネットワークを構築できている。

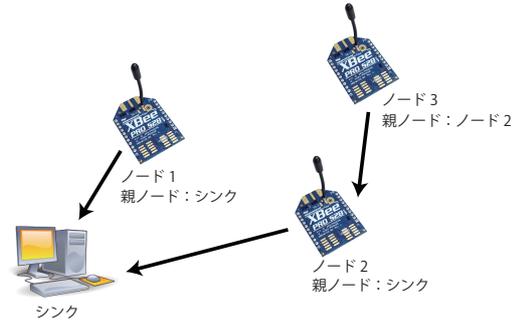


図 7 構築されたネットワーク

#### 4 むすび

マルチホップ無線ネットワークの一つであるセンサネットワークを紹介すると共に、クラスタリング用いたデータ収集方式として PARC 方式を紹介した。実機を用いた予備的な実験を行い、端末数の少ない環境においてネットワークが構築できることを確認した。今後は、端末数を 20~100 台程度に増やしネットワークの構築を行うとともに PARC の実装を行う。

#### 参考文献

- [1] K. Yanagihara, J. Taketsugu, K. Fukui, S. Fukunaga, S Hara and K. Kitayama, "EACLE : Energy-Aware Clustering Scheme with Transmission Power Control for Sensor Networks," Wireless Personal Communications, Vol. 40, Num. 3, pp.401-415, Feb. 2007.
- [2] Taiju MIKOSHI, Shinichi MOMMA, and Toyofumi TAKENAKA, "PARC: Power Aware Routing and Clustering Scheme for Wireless Sensor Networks", IEICE Trans. Vol.E94-B, No.12, pp.3471-3479.
- [3] 渡辺拓実, 見越大樹, 竹中豊文, "移動シンクによる PARC を用いた無線センサネットワークの長寿命化," 電子情報通信学会論文誌 B, J98-B no. 5, pp. 442-447, 2015 年 5 月.
- [4] 板倉重和, 見越大樹, 西園敏弘, 竹中豊文, "センサネットワークにおけるエッジ探索型データ収集方式のためのエッジ決定メッセージ削減手法," 信学技報 NS2015-222, pp.313-316, 2016 年 3 月.
- [5] XBee RF モジュール, <http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/index.html>
- [6] ARDUINO, <https://www.arduino.cc/>

# 高齢者頭部モデルによる外傷のコンピュータシミュレーション

西本哲也<sup>1)</sup>

## 1) 日大工・機械

### 【緒論】

高齢化に伴い交通事故における高齢者の死亡率が増加傾向にある。高齢者は加齢と共に脳実質が萎縮することが確認されており<sup>(1)</sup>、高齢者特有の頭部構造を考慮した衝撃解析が望まれる。本研究では若年者の頭部CT画像を基に若年者頭部モデルを構築し、脳実質の形状を修正することで高齢者の頭部構造を再現した<sup>(2)</sup>。この手法により高齢者頭部有限要素モデルを構築し、頭部衝撃時における頭蓋内応答の解析をおこなった。

### 【高齢者頭部モデル】

高齢者頭部モデルはボクセル要素で構築されており、ボクセル寸法は  $0.27 \times 0.27 \times 0.6$  [mm]、ボクセル数は約1億個に及ぶ。図1に高齢者頭部モデルを示す。組織は力学特性の異なる12種類に分類を行った。図2に高齢者頭部モデルと、基になった若年者頭部モデルの断面図を示す。外形形状と骨格形状は同一であり、頭蓋内部の脳実質を縮小させ、脳室と硬膜下腔を拡大させたモデルとなっている。表1に高齢者モデルと若年者モデルの頭蓋内組織の体積比較を示す。高齢者モデルは若年者モデルに比べ、脳実質が6.87%減少し、脳室が70.65%、硬膜下腔が41.71%それぞれ拡大した。



図1. 高齢者の頭部構造を再現した頭部モデル

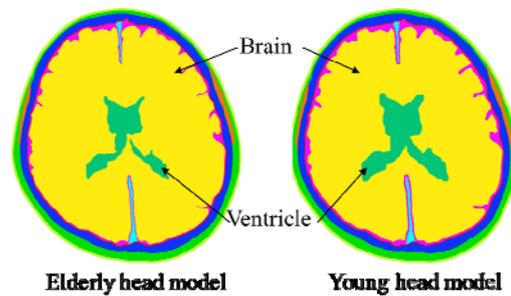


図2. 高齢者と若年者の冠状断面の比較

### 【頭部衝撃解析】

構築した高齢者頭部モデルを用いて Nahum<sup>(3)</sup>による屍体実験を再現した衝撃解析をおこなった。図3に頭部衝撃解析の概略図を示す。頭部モデルの正面方向から前頭部に45度の角度で剛体設定した質量5.59kgのインパクトを速度9.94m/sで衝突させた。また若年者頭部モデルでも同条件で解析をおこない、加齢による変化が及ぼす影響の比較をおこなった。頭部モデルは要素数100万の簡略化したものを使用した。

表1. 高齢者と若年者の頭蓋内体積の比較

	Volume of head model [ $\times 10^5$ mm <sup>3</sup> ]		Elderly volume rate changes based on young model [%]
	Young model	Elderly model	
Brain	14.69	13.68	-6.87
Ventricle	0.28	0.48	70.65
CSF	1.94	2.75	41.71
Intracranial	47.38	47.38	0.00

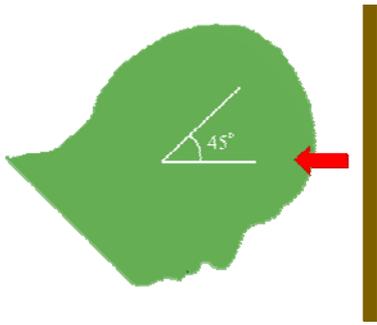


図3. 屍体実験を再現した頭部衝撃の解析

【結果】

頭部衝撃解析の結果、図4に高齢者、若年者の両頭部モデルによるミーゼス応力の比較を示し、図5に高齢者頭部モデルの矢状断面における応力分布を示す。図4のミーゼス応力の波形は前頭葉の要素から得られたものである。両モデルともに同様の応答がみられたが、最大ミーゼス応力値は約1ms時に若年者モデルが15.3kPa、高齢者モデルが18.1kPaを示した。高齢者モデルが若年者モデルに比べ約30%高い値を示したことから、高齢者は若年者に比べ頭部衝撃時における脳の受ける衝撃が大きいことがわかる。図5から約1.0ms時に脳の前頭葉に高い応力分布がみられた。時間経過とともに衝撃が後方へと伝播していき、約2.0ms時には衝撃を受けた部分と反対側の後頭部に高い応力がみられた。頭部外傷においても対側損傷が生じることもあり、頭部構造の特徴を再現できていると考えている。

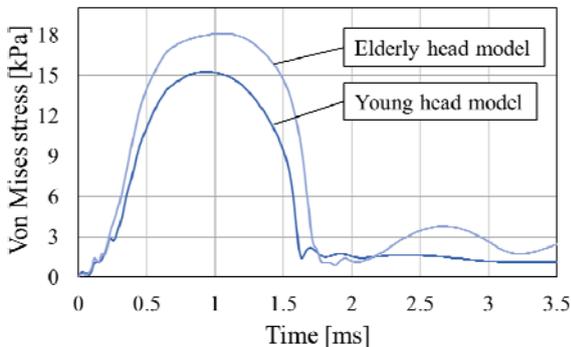


図4. 高齢者と若年者の頭部モデルによる前頭部衝撃時の応力比較

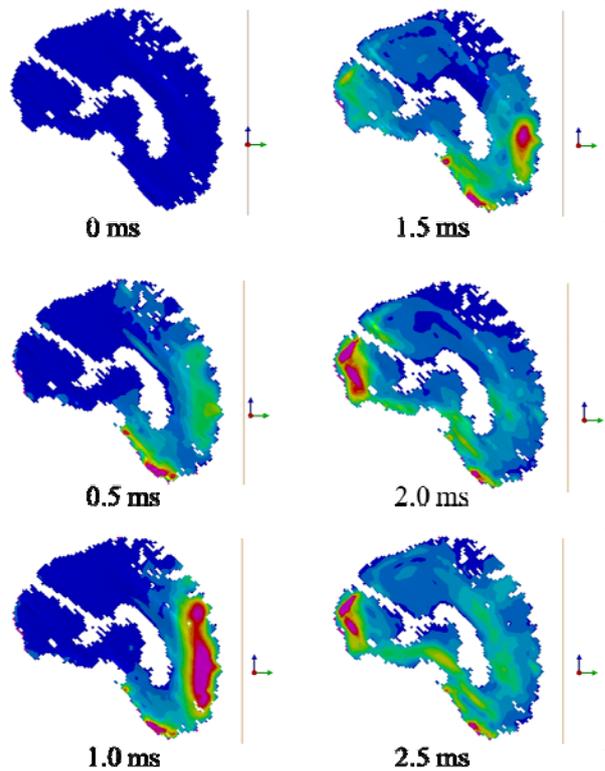


図5. 前頭部衝撃時の脳矢状断面の応力分布

【結論】

脳萎縮を再現した高齢者頭部モデルによる衝撃解析を実施した。解析の結果、衝撃が脳の後部へと伝播し、頭部外傷の特徴である対側損傷との関係性もある。高齢者頭部モデルが若年者頭部モデルに比べ約30%高い応力値を示したことから、頭部は加齢により傷害を被る可能性が高くなるものとする。

参考文献

- 1) 恒屋昌一, 市村真由美, 金沢稔, “高齢者の頭部CTの二次元計測による脳の加齢変化と直立時重心動揺”, 埼玉理学療法, Vol.4, (1996)
- 2) 鈴木光, 杉浦隆次, 西本哲也, 渡邊大, “高齢者を想定した頭部有限要素モデルの開発”, 日本機械学会2015年度年次大会, (2015)
- 3) Nahum, A.M., Smith, R., and Ward, C.C., “Intracranial Pressure Dynamics During Head Impact”, 21st STAPP CAR CRASH CONFERENCE, (1977)