

## 言語のカートグラフィーを目指して

科学的言語研究（課題番号：133001）

研究期間：平成25年4月1日～平成28年3月31日

研究代表者：青木文夫      研究員：Tim Cross、林 幸代、Stephen Howe、伊藤益代、久保善宏、劉 莎（平成27年4月1日から）、毛利史生、西村 恵、竹安 大（平成27年4月1日から）、谷川晋一、鄭 磊、土屋 亮、臼杵 岳（平成26年3月31日まで）、安井 篤（平成26年3月31日まで）、山田英二（平成26年3月31日まで）

この研究グループは、2016年2月に論集を刊行し、各委員がこのチームでのテーマに従った研究成果を公表している（*the Bulletin of Central Research Institute Fukuoka University Series A: Humanities*, Vol. 15, No.5, February 2016）。そこでは言語科学の多くの領域に関する様々な研究論文が掲載されており、各委員のそれまでの研究成果を概観することができる<sup>1)</sup>。多様な領域をカバーしているため、それぞれの委員の研究の概要をここで述べるには紙数が足りないで、それについては上記論集を読まれ、また既発表の研究成果についてもそこで参照されている各委員の文献目録にある論文や著書などをご覧になっていただければと思う。

以下では、このように多領域の分野から成る言語科学の目的は何であるかということと、多領域に跨る研究領域が一つのチームとして成立する理由について簡単にまとめ、この研究チームが発展的に「言語のカートグラフィー」という新しい研究チームに至った経緯について述べ、現代言語科学の目指すところを概説したい。なお、研究の一例として谷川晋一委員の論文（「ラベル付けアルゴリズムにおける agreement の定義」、『福岡大学人文論叢』、第43巻第3号、2015年12月、841～874頁）も参考にした。

この研究チームの設立趣旨には「インターフェイス (interface) という面において、現在の極小理論の背景にある言語諸科学との接点についての研究に大きな成果が期待できること。また、極小理論自体の展開については、研究対象がスペイン語、英語、日本語など以外にロマンス諸語やゲルマン諸語なども含まれており、90年代以前の媒介変項的な普遍性と

個別性の問題から、統語的基本操作を phase 理論による素性照合と merge だけに縮小する方向性についての考察を提示し、その結果文法における派生とは何かという基本的な問題への理論の構築に向けた貢献が期待される」ということが述べられている。要約すると生得的に脳の中に存在する基本的な操作 (operation) と言語ごとに異なる部分は何かという問題の解明 (現在においては “cartographic project of language” という Adrianna Belletti が *Structures and Beyond: Cartography of Syntactic Structures*, Oxford

1) 論集に掲載のなかった次の委員については研究概要を提示しておく。伊藤委員(在外研究のため)「削除現象についてのこれまでの本研究において未解決である点、及び新たに比較構文に着目することにより生じる疑問点を明らかにするために、削除や比較に関わる文の解釈過程を観察し、理論の科学的検証を行っている。比較構文については、最近になってその理論研究は新たな展開をしているものの、大人や子供が比較構文をどのように理解するのかについての研究は未だ不足している。平成26-27年度の在外研究中に本研究の着想に至り、現在、日本語児を対象に予備実験を行っている。また、比較構文については、統語的削除に関わる抽象構造が英語及び日本語(など)における比較構文に関わるのかどうかについて、現段階では吟味中である。その上で、被験者が実際にどのように比較文を解釈するのかを実験によって観察し、統語理論・意味理論の妥当性を検証する予定である」、臼杵委員(転出のため)「日英語の動詞の項構造の拡張現象の中心に研究を行った。特に日本語のオノマトペを伴う動詞の項構造の研究から意味と統語のインターフェイス理論への提言を試みた。多くの動詞の項構造の拡張現象が、意味部門での拡張現象として理論的に説明が可能であるという提案を行った。この提案の帰結として、統語部門での派生をよりシンプルにする事が可能となる。これは、最小主義理論を間接的に支持するものである」、青木委員「統語論における談話性をカートグラフィーにおける談話変項によって、統語的には形式的な記述ができ、意味論(LF)や音声解釈のインターフェイスに統語的な情報を手渡すことができること」の以上である。なお、各委員の業績については紙数の関係で省く。

University Press, 2004 の introduction part で用いた呼称で置き換えられる科学的方向性)であり、精密に限られた文法および機能範疇 (grammatical and functional categories) を定義し、それを merge させる操作と派生のアルゴリズム (algorithm) によって無限の豊かさを持つ自然言語の構造が生成できる仕組みを解明することである。例えば、統語構造について70年代の X-bar 理論から続いている展開は、「生成文法の企て」(generative enterprise) という観点から “cartographic enterprise” (Ur Shlonsky が *Language and Linguistic Compass*, vol. 4, 2010 に掲載した論文で用いた用語) と言い換えることができる。X-bar 理論以降議論されてきたことは階層 (hierarchy) と選択 (selection、または project や search) であり極小理論における phase の階層 (例えば、C-T-v-V 階層) とその edge (主要部と補部) がどのような原則によって正しく派生されるか (素性照合) と解釈されない素性照合のための移動 (move) がどのように適用されるかであり、X-bar 理論以降は、原則と媒介変項理論、障壁理論を経て現在の極小理論まで議論されてきたのである (詳しくは Guglielmo Cinque and Luigi Rizzi “The Cartography of Syntactic Structures”, *STiL – Studies in Linguistics*, Vol. 2, 2008 参照)。そのような状況の中で極小理論での統語構造の記述を正しい方向に導こうとする「言語のカートグラフィー」という方法論が2000年代になって出てきて、現在ではその研究に「カートグラフィー」という用語を冠するものが無数に存在する。「カートグラフィー」という考え方をここで簡単に説明することは容易ではないが、要約すると言語の多様な統語的階層構造を記述する (地図を描く = カートグラフィー) ために多くの文法範疇、とくに機能範疇とその構造を精密に定義し、その範疇が正しく merge されるための理論を構築しようとするものである。といっても、それは必ずしも極小理論の経済性と矛盾するかと言えば、そうではなく、普遍的操作の精緻化も同時進行で展開しているので、脳のメカニズム解明という点において更なる進展が期待される。

その意味で、例えば日本英語学会第30回大会 (2012年11月、於慶応大学) における特別ワークショップ “Basic Operations of Syntax” (司会: 福井直樹) での Cedric Boeckx が話した演題 “On Merge: Biolinguistic

Considerations” は、merge を統語的に生得的に存在する基本操作であるとし、生物言語学的にそれは論証されることを明確に示唆するものであった。

そのような研究方向の一例として、上述した谷川 (2015) とこの研究チームが出した論集における谷川 (2016: 「英語の文主語構文: 文主語の特異性と先行研究の問題点」) がその方向を検証している。Chomsky (2013, 2014) (*Problems of Projection* およびその Extension) において提案された free merge とラベル付けアルゴリズム (labeling algorithm) については、merge された二つの要素がどちらも  $\alpha P$  (すなわち [XP YP]) である場合の問題をとりあげ、minimal search domain とか feature matching (agreement) などによるラベル付けアルゴリズムが様々な定義されてきた点に追加して、谷川 (2015, 2016) は agreement によるラベル付けについて「解釈不可能素性相互削除」という提案をしている。詳しく述べることはできないが、[XP YP] の merge の段階で agreement によってラベル付けの操作が完了したのち、さらに free merge で構造的に上の位置で再度 [XP ZP] が生じると、その部分では XP の解釈不可能素性が削除されているためラベル付けができずに派生が破綻することになる場合があり (谷川2015の44の構造などを参照)、同時に従来別の仕組みで排除されてきた A/A' movement の非対称性などに対し新たな説明を可能にしている。この研究の理論的方向性は、言語のカートグラフィー研究とともに今後の言語科学の中心となるものである。すなわち、統語的操作は merge などの非常に限られたものに限定し派生はラベル付けアルゴリズム (search や agreement) によるが、文法的機能範疇と素性の目録 (全体としては強い立場の普遍性理論から全て普遍的な範疇と素性 (素性の強弱も含め) である) から言語ごとにどれを記述に利用するかというカートグラフィー研究が言語科学の両輪となる。

この研究チームが出した上述の論集での他の研究者の統語的研究についても、この点に貢献するものが多く、言語科学が極小理論の中で merge や move などの原則的操作の研究と、それら原則を背景にしたカートグラフィー研究に移行していることを明示している。また、統語論以外の研究 (意味論、音韻論、音声学など) は従来から精緻化が求められてき

たインターフェイスの研究に貢献するものであり、例えばある種の移動現象や削除現象が統語的なものではなく、音声解釈に引き渡された情報を音声的に処理したものであるとか、照応における解釈の揺れは談話変項（discourse variable）と音声情報の双方からの情報で意味が決められると言った問題を解決するための重要な研究分野を構成する。その意味で、先に述べたように、この研究チームの多くの研究者が2016年4月より新規に設置が認められた「言語のカートグラフィー」研究チームにおいて、更なる研究成果を出していくことになる。



## 非線型偏微分方程式

非線型偏微分方程式（課題番号：135003）

研究期間：平成25年4月1日～平成28年3月31日

研究代表者：田中尚人      研究員：山田直記、小林錦子、三竹大寿（平成25年10月31日まで）、  
藤木 淳（平成26年5月1日から）、柳 貴（平成27年2月1日から）

## 研究成果

空間的及び時間的に変化する現象をモデル化しそれを数式で表現すると、2変数以上の関数に対する微分方程式（偏微分方程式）が得られ、それらのほとんどは非線型である。本研究チームでは、理工学の分野で特に重要な非線型偏微分方程式について、メンバー各自がそれぞれの立場から研究を遂行した。

田中は非圧縮性粘性流体の運動を記述するモデル方程式である、Navier-Stokes 方程式について研究した。特に、流体が満たされている空間の領域に幾何学的な特異性がある場合に、それが解の解析的な特異性にどのように伝播するのか、ということを定量的に調べた。空間の領域が2次元の場合の幾何学的な特異性とは、領域の境界が滑らかではなく、角がある場合（接触角がある場合）と無限次の接触をする場合（尖点の場合）とに分けられるが、前者の場合、角の開きの大きさが大きい程、解の解析的な特異性が強くなることが判明した。

山田はハミルトンヤコビ方程式の連立系について弱 KAM 理論の立場から解の定性的性質に関する研究を行った。単独のハミルトンヤコビ方程式に対するラグランジュ表現に対応する表現形式を構成することが第一の目的である。この表現を用いて、粘性解の意味での解を特徴付けることができる。連立系では未知関数同士の相互関連は行列で表されるが、このようなグランジュ形式を構成するためには、適切な確率空間とその上でスイッチングを含む確率過程を考察しなければならないことが明らかになった。これらの一連の研究は H. Mitake (広島大学)、A. Siconolfi (ローマ大学)、H. V. Tran (Chicago 大学) との共同研究であり、現在その成果をまとめつつある。

小林は、田中が数学として解析的に考察した流体力学の問題の数値シミュレーションを行った。

三竹は、非線型偏微分方程式の粘性解理論を用いたハミルトンヤコビ方程式の時間大域的挙動を研究した。

藤木はパターン認識への偏微分方程式の応用について取り組んだ。パターン認識は画像や音声などの高次元のデータをそれが何を表しているかを示す低次元のカテゴリへ写像することであるととらえることができる。この写像は一般に高次元空間からその低次元部分空間への非線形射影であると考えることができ、工学的にはデータからカテゴリとは無関係なノイズを取り除くことに相当する。この写像を微分可能な射影であると仮定すると、この写像によってノイズを徐々に取り除く様子は高次元空間の点がある滑らかな曲線に沿うように低次元部分空間へ移動すると表現することができる。本研究において、この滑らかな曲線はある種の偏微分方程式で記述することができるはずであると考え、パターン認識のノイズを取り除いて本質的なカテゴリを抽出する過程を偏微分方程式で表現するための研究について取り組んだ。その表現の枠組みを作る中でパターン認識におけるもっとも基本的な判別手法の一つであるフィッシャーの線形判別分析を偏微分方程式によって表現する研究を行なうとともに新しい判別分析手法を提案した。

柳は、無限大ラプラス方程式などに関連する微分ゲームを考察し、解析的方法を利用し、ゲーム理論において重要である Dynamic Programming 方程式の解の存在と一意性を証明し、一般の放物型方程式の新たなゲーム論的解釈が得られた。また、画像処理などの分野への応用を着目し、曲率の冪乗による界



面運動方程式を考察し、その指数が 0 に近づく際に解の漸近挙動を調べ、極限関数が満たす方程式の性質を明らかにした。従来の研究結果を一般化し、2 階微分に関して不連続性を持つ非線型放物型方程式にも適用できる粘性解理論を構築した。

## 研究業績

- H. Mitake, A. Siconolfi, H. V. Tran and N. Yamada, A Lagrangian approach to weakly coupled Hamilton-Jacobi systems, Preprint.
- N. Yamada, An idea of the proof of the comparison principle of viscosity solutions for doubly nonlinear Hamilton-Jacobi equations, Proceedings of Seminar on Partial Differential Equations in Osaka 2012 —in honor of Professor Hiroki Tanabe's 80th birthday—, Yagi Laboratory, Osaka University, 183-188, (2013).
- H. Hino and J. Fujiki, Adherently penalized linear discriminant analysis, J. Jpn. Soc. Comp. Statist., 28, 125-137, 2015.
- 坂野鋭, 木村昭悟, 藤木淳, 田中勝, 共分散行列の違いを許容する線形判別分析, 研究報告数理モデル化と問題解決, 2015-MPS-106(3), 1-5, 2015.
- J. Fujiki, Geometry of multiclass Fisher's linear discriminant analysis via communication theory, Germany-Japan Adaptive BCI workshop, Oct. 28th, 2015. (Invited speaker)
- J. Fujiki et al., Geometric interpretation of Fisher's linear discriminant analysis through communication theory, In Proc. the 13th IAPR in International Conference on Machine Vision Applications (MVA2015), 333-336, 2015.
- 藤木淳 他: 類の通信としてのフィッシャーの判別分析, 電子情報通信学会技術報告114(474), 163-168, 2015.
- 藤木淳 他: フィッシャーの線型判別分析の幾何学, 電子情報通信学会技術報告114(206), 81-86, 2014.
- Liu, Qing et al.: A nonlinear parabolic equation with discontinuity in the highest order and applications. J. Differential Equations 260(2):1200-1227, 2016.
- Liu, Qing, et al.: Large-time asymptotics for Hamilton-Jacobi equations with noncoercive Hamiltonians appearing in crystal growth. Nonlinear dynamics

in partial differential equations, 235-242, Adv. Stud. Pure Math., 64, Math. Soc. Japan, Tokyo, 2015.

Liu, Qing et al.: Existence and symmetry of ground states to the Boussinesq abcd systems. Arch. Ration. Mech. Anal. 216(2), 569-591, 2015.

Liu, Qing et al.: General existence of solutions to dynamic programming equations. Commun. Pure Appl. Anal. 14(1), 167-184, 2015.



## 福岡市天神・大名地区の都市景観に関する研究

福岡の竹まいを考える会（課題番号：135008）

研究期間：平成25年4月1日～平成28年3月31日

研究代表者：太記祐一      研究員：黒瀬重幸、趙      翔、松永一郎

## 1. はじめに

2004年の景観法制定以来、早十余年が過ぎた。この間に人々の景観への関心が高まったとも言われるが、我々の生活に最も身近な景観の一つであり、都市の魅力を左右する街路景観の質の向上は、多くの都市において未解決のまま残された課題の一つであろう。福岡市天神・大名地区は九州随一の商業地であり、戦後、短期間に急速に発展したことで知られる。それゆえ多面的な考察の対象となるべきだが都市景観に注目した研究は、それほど多くはない。本研究では、当該地区における都市景観のなかでも歩行者が目にする頻度が高い街路景観に焦点を結び、その質の一端を多様性と統一性の観点から明らかにすることを目的とする。

## 2. 研究の方法

(1) 街路景観の魅力は歩行者が眺める連続的な街路ファサードの質に基づいているといえる。そこで本研究ではまず福岡市天神・大名地区に位置する代表的な5つの街路について、車道を挟んだ反対側の歩道上の高さ1.5mの地点から、28mmレンズのデジタルカメラ縦使いで、街路ファサード低層部の立面写真の撮影をおこないデータベース化する。それらをコンピュータ上で合成して、垂直方向視野角60°の街路ファサード全体の連続立面写真を作製する(図1参照)。

(2) 効率的な定量計測が可能となるよう連続立面写真にメッシュを設定する。メッシュの寸法は、人間の熟視時の視野角とされる $2^{\circ}$ に基づいて決定している。具体的には、反対側の歩道上から見た時に、ファサード面に縦・横 $2^{\circ}$ の視野角で形成される正方形を1メッシュとし、連続立面写真の全面に均質なメッシュを設定する。したがって、各街路のメッシュ寸法は道路幅員に応じて異なることになり、道路幅員が小さな街路ではメッシュ寸法も小さく、一方、道路幅員が大きな街路ではメッシュ寸法も大きくなる。これは近距離では細部まで判断でき、遠距離では概略しか判断できない人間の視覚構造にも類似する。

(3) 街路ファサードの見え方を特徴付けている色相、明度、彩度、材料、部位の5つについて、連続



図1 街路ファサードの連続立面写真

立面写真に設定した7,200の各メッシュから、優勢な要素をそれぞれ抽出し、その面積比率を集計する。色相は色相環を10分割したものに無彩色を加えた11分類で集計する。彩度は10%単位を規準とした百分率で抽出し、彩度値4%未満を無彩色として全11分類で集計する。明度も10%単位の百分率で抽出し、10分類で集計する。材料および部位は、現地での目視調査をまじえ、それぞれ17分類で集計する。

(4) 連続立面写真から抽出・集計した色相、明度、彩度、材料、部位それぞれについて、その構成の多様性・統一性を、Simpson の多様度指数を用いて評価・検討する。多様度指数は生態学において、ある生息地に含まれる生物種組成の多様さを評価する場合に用いられる指標であり、種の豊富さと種組成の均等さの二つの異なる要素を含んだ尺度である。Simpson の多様度指数は最も代表的な多様度指数の一つとされ、次の式で表すことができる。

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$$

本研究では、確率変数  $P_i$  には分類カテゴリー毎の面積比率を、また  $S$  には分類カテゴリー数（種数）を当てはめる。なお Simpson の多様度指数は 0～1 の値をとり、1 に近い大きな値ほど多様性が高いことを示す。

(5) 物理量としての Simpson の多様度指数と、心理量としての人間の印象評価の関係性を検討するため、学生40名を被験者とした印象評価アンケート調査を実施する。アンケートの方法は、図1に示す街路ファサードの連続立面写真10枚を被験者に任意の順序で見てもらい、「多様性」および「統一性」についての印象評価を、それぞれ「1. 非常にある（4点）」～「4. ほとんどない（1点）」の四段階で回答用紙に記入してもらう方式とし、40名の被験者全員の回答結果を評価得点（160点満点）として集計する。

### 3. 分析結果と考察

(1) 各街路ファサードにおける Simpson の多様度指数を、5つの見え方の特徴毎に算出し、その結果をまとめ表1に示す。親富孝西面はいずれの見え方の特徴においても Simpson の多様度指数の値が高く、総合的に多様性が最も高い街路ファサードであることが窺い知れる。同様に紺屋町西面も色相、彩度、材料など複数の見え方の特徴で多様性が高い。一方、きらめき南面は、彩度、材料、部位の Simpson の多様度指数の値が低く、統一性が高い。ここでは石材が明確な基調材料となり、材料の統一性がとりわけ高い。業務街である明治通りも統一性が比較的高く、北面では材料、部位、また南面では彩度、明度の統一性が高い。

(2) 物理量と心理量の関係性について、縦軸に色相および材料の Simpson の多様度指数（物理量）、横軸に「多様性」「統一性」の印象評価得点（心理量）をとり、各街路ファサードをプロットした図2より見る。

色相の Simpson の多様度指数は「多様性」の印象評価得点との相関係数が  $R=0.8797$  であり、強い正の相関の傾向を示している。同様に、彩度は  $R=0.8891$ 、明度は  $R=0.8695$  であり、色彩系の Simpson の多様度指数はいずれも「多様性」の印象評価と強い正の相関を示す傾向にある。一方、材料の Simpson の多様度指数は、「統一性」の印象評価得点との相関係数が  $R=-0.8936$  であり、強い負の相関を示している。更に、ラフ集合理論を用いた分析においても、街路ファサードにおける色相および材料の Simpson の多様度指数は、被験者の「多様性」「統一性」の印象評価を左右する要因の一つになっていることが確認できた。

したがって、物理量としての Simpson の多様度指数は、心理量としての「多様性」「統一性」の印象評価と概ね対応しており、街路ファサードの連続立

表1 見え方の特徴毎の Simpson 多様度指数

	Simpsonの多様度指数 (D)				
	色相	彩度	明度	材料	部位
親富孝東面	0.8225	0.7283	0.8704	0.8835	0.8483
親富孝西面	0.8741	0.7969	0.8815	0.8824	0.8499
明治通り北面	0.7887	0.7311	0.8215	0.7822	0.7497
明治通り南面	0.7931	0.6950	0.8037	0.8176	0.7977
きらめき北面	0.8364	0.7613	0.8653	0.8689	0.8461
きらめき南面	0.8046	0.6911	0.8306	0.7399	0.7642
西通り東面	0.7921	0.7137	0.8001	0.8353	0.8575
西通り西面	0.7888	0.7609	0.8663	0.8085	0.8273
紺屋町東面	0.8501	0.7685	0.8827	0.8628	0.7859
紺屋町西面	0.8617	0.8163	0.8676	0.8750	0.8017
平均値	0.8212	0.7463	0.8490	0.8356	0.8128

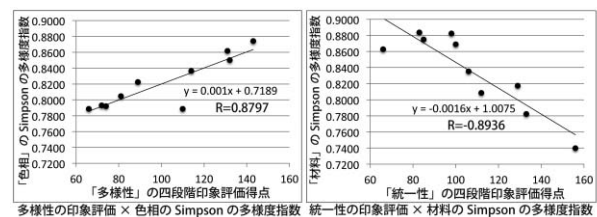


図2 Simpson の多様度指数と印象評価の関係性

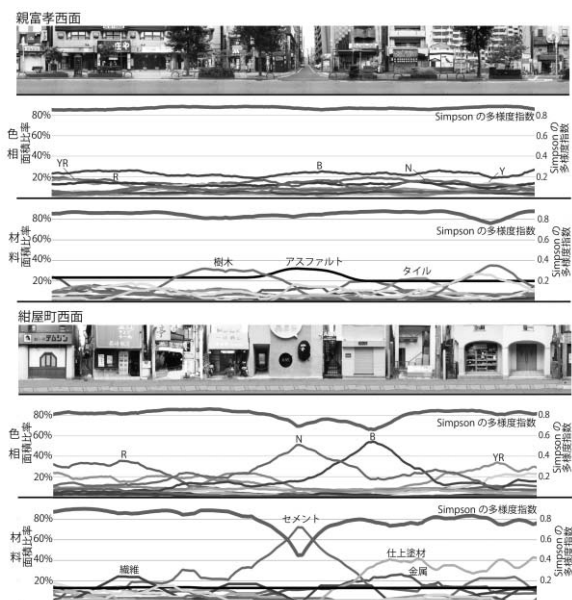


図3 視点場の移動に伴う街路景観の変化

面写真から色彩および材料の Simpson の多様度指数を算出して多様性を評価する一連の分析手法は、有効な分析手法であるといえよう。

なお、本研究におけるラフ集合を用いた分析は、研究手法が発表論文のなかで最も革新的であるとの評価を受け、The European Institute of Retailing and Services Studies (EIRASS) より Elsevier Prize を受賞している（2015年7月）。

(3) 最後に、歩行時を疑似的に再現して、視点場の移動に伴う街路ファサード構成要素とその多様性の連続的な変化について検討する。60°の正方形視野フレームを1メッシュずつ水平方向に移動させた時の面積比率と Simpson の多様度指数の変化を、図



3のグラフに示す。このグラフにおいて、多種の要素が密に重なっている部分は、各要素の面積比率が均等であり多様性が高い部分であることを示す。一方、ある要素が山状の波形を形成している部分は、その要素が支配的であり統一性が高い部分であることを示す。

まず、総合的に多様性が高かった親富孝西面について見てみる。色相では、多種の色相による直線的なグラフ波形が、面積比率25%を最大値とした狭い範囲内で密に重なっている。材料においても同様の傾向にある。ここでは、広告や看板の影響で多種の色相や材料が断片化し、それが街路ファサード全面にわたって均質に連続している。つまり建物単位の高多様性が高い。

次に、紺屋町西面について見る。色相では、複数の色相が複数の山状の波形を形成し、N、B系は面積比率50%を超えている。材料においても同様の傾向にあり、複数の山状の波形を形成している。とりわけセメントは面積比率70%を超え支配的である。ここでは、建物単位で基調となる色相や材料が異なり、それらが幾重にも重なる山状のグラフ波形に表れている。つまり周辺建物との関係性による多様性が高い。

以上のように、街路ファサード全体の多様性が高い場合には、その要因や質が異なる二つの典型が存在することが分かる。

#### 4. 研究の展開

工学部建築学科には、1974年に飯田利彦先生（当時建築学科助手）が撮影されたけやき通りの連続立面写真が保管されている。これと同じ位置での2014年の連続立面写真を作製し、高度経済成長期から今日までの40年間にわたるけやき通りの街路景観の変化を、天神・大名地区同様の手法を用いて検討した。その結果、2014年におけるけやき通りの街路景観は、1974年に比べ、多様性が増す傾向にあることが確認できた。

また、近年、建築や都市における空間を分析する手法として、可視領域の大小を評価するイソヴィスト解析が注目を集めている。都市景観研究にこのイソヴィスト解析を適用する準備段階として、まず福岡大学60周年記念館を例として、建築内部空間におけるイソヴィストの計測手法を確立した。更に、イソヴィスト解析の対象を福岡大学七隈キャンパスに広げ、パノラマ写真から得られる天空率との関係を検討した。その考察の結果、イソヴィスト解析が都市景観の研究にも適用可能な有効な分析手法であることを確認した。

#### 5. 今後の展望

これまで培ってきた研究手法を活用しつつ、新たにイソヴィスト解析を取り入れ、より多面的に調査・

分析していきたい。また、福岡市の中でも古い歴史を持ち、様々な時代の建築が重層的に存在する博多部を調査対象地に加え、福岡市の都市景観の一端についてより考察を深めていきたい。

#### 【主な研究業績】

- 1) 黒瀬重幸，松永一郎：街路ファサードの構成要素と人間の印象評価に関する研究—ラフ集合理論を用いた被験者グループによる印象評価の相違を中心として—，2014年度日本建築学会大会学術講演梗概集・都市計画，pp.295-296，2014年9月
- 2) 松永一郎，太記祐一：けやき通り・別府橋通りにおけるまちなみの変容に関する研究—1974年と2013年の連続立面写真の比較を通して—，2014年度日本建築学会大会学術講演梗概集・都市計画，pp.1123-1124，2014年9月
- 3) 趙翔，松永一郎，本田悟，土屋潤：建築計画と設計における材料の質・効果に関する実験的研究—打放しコンクリートの色彩の実態調査と制御に関する実験—，日本建築学会技術報告集，47，pp.285-290，2015年2月
- 4) 今吉光緒，松永一郎，黒瀬重幸：Isovist 値の計算手法の確立とその応用—Isovist 値とパーソナルスペースの発生との相関—，2014年度日本建築学会九州支部研究発表会，54・3計画系，pp.461-464，2015年3月
- 5) Shigeyuki KUROSE, Ichiro MATSUNAGA: An Analysis on Relationship between Physical Conditions and Psychological Impressions of Street Facades by Using Rough Set Theory, CD-ROM of International Conference on Recent Advances in Retailing and Consumer Services Science organized by European Institute of Retailing and Services Studies (EIRASS), 2015年7月
- 6) 松永一郎，田上健一，黒瀬重幸：Simpson の多様度指数を用いた街路景観の定量分析 福岡市の街路ファサードについて，日本建築学会計画系論文集，714号，pp.1863-1874，2015年8月
- 7) Shigeyuki Kurose, Ichiro Matsunaga: Establishment of Isovist Calculation Method and Application: Case Study of Relationship between Isovist Field and Generation of Personal Space, Proceedings of the 10th International Symposium on City Planning and Environmental Management in Asian Countries, pp.1-4, 2016年1月
- 8) 元田凌正，安川幸祐，松永一郎，黒瀬重幸：パノラマ写真と Isovist 解析ソフトを用いたキャンパス空間の解析手法，2015年度日本建築学会九州支部研究発表会，55・3計画系，pp.357-360，2016年3月



## カーボンナノチューブを用いたポリマー複合材料の 機械的性質に関する研究

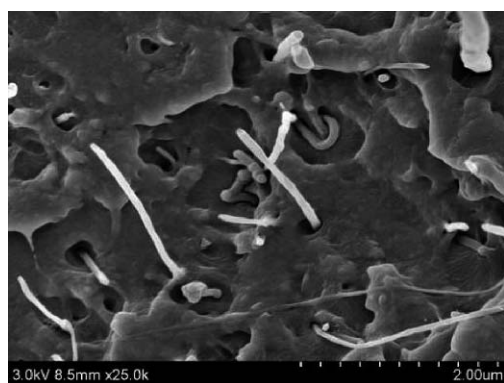
ナノ・マイクロメカニクス（課題番号：135011）  
研究期間：平成25年4月1日～平成28年3月31日  
研究代表者：柳瀬圭児 研究員：遠藤正浩

### 研究背景

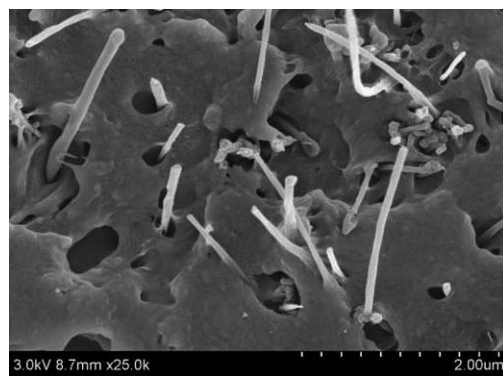
カーボンナノチューブ（CNT）は、ナノメートルの直径をもつ筒状の炭素からなるナノ材料である。その発見以来、そのユニークな構造と卓越した材料物性や種々の興味深い機能が見出され、ナノテクノロジーの中心的な存在となっている。例えば、従来の炭素繊維と比較してCNTにより補強されたポリマー材料は、従来の複合材料では決して得られない優れた機械的性質を実現できる大きな可能性を秘めている。またCNT-Polymer複合材料の特徴として、航空工学から生体工学まで適用できる多機能性、エネルギー吸収能、CNT繊維の架橋による破壊の抵抗性の向上、製造の容易さなどが挙げられる。しかしながらCNTの優れた材料特性を複合材料の補強材料として十分に生かすためには、製造プロセス、CNT-Polymer間の界面状態、CNTの複合材料中における形状や分散状態を適切に評価・理解することが近頃の課題とされている（Fig. 1）。

### 研究成果

本研究ではマイクロメカニクスの拡張を行いながらCNT-Polymer複合材料中のCNTのうねり（Waviness, Fig. 2）、不完全界面（Imperfect Interface）が複合材料のマクロな力学的挙動に及ぼす影響についてそれらの定量的評価に取り組んだ。マイクロメカニクスは、複合材料や合金などの材料の微細構造を数学的に解析する連続体力学の一分野である。その歴史はEshelbyの楕円形介在物に関する応力解析に端を発し、ノースウェスタン大学のMuraの研究が有名である。マイクロメカニクスによる解析モデルは有限要素法（FEM）と比較して、事前に特異積分を含む数理処理を施すことにより大規模計算を必要とせず比較的簡便な計算により解析が行えるという実用的な利点がある。本研究では、既往の研究における実験データを元に実験と解析結果について比較検討を行い、力学的挙動を支配する因子の特定やCNT-Polymer複合材料の性能最適化のための方法について検証を進めた。マイクロメカニクスを用いると、



(a) CNT volume fraction  $\phi=0.03$



(b) CNT volume fraction  $\phi=0.07$

Fig. 1 SEM images of the cross sections of CNT-PEEK composites.

CNT のうねりや不完全界面の影響は ad hoc Eshelby's tensor (Yanase et al., 2013; Yanase and Ju, 2014) を用いて考慮することができる。CNT-Polymer 複合材料を“Multi-phase 複合材料”として捉え解析モデルの構築を行い、複合材料中の CNT の力の伝達機能および複合材料のマクロな弾性変形特性のシュミレーションを試みた。シュミレーションの結果、Fig. 3 に示すように CNT のうねり ( $=A/L$ , Fig. 2) が大きくなるにしたがい、複合材のヤング率  $E^{**}$  が低下する結果が得られた。実験結果によると、CNT の体積率  $\phi$  の増加に拘らず  $E^{**}$  の顕著な増加は認められない。これは Fig. 1 が示すように、CNT のうねりのみならず CNT 周囲の不完全界面が大きな影響を及ぼしているものと考えられる。また多くの不完全界面の存在に拘らず複合材のヤング率  $E^{**}$  が母材のヤング率  $E^0$  に対して高い値をもつのは、卓越した CNT のヤング率 ( $E_1=1000$  GPa) が効果的に作用しているものと考えられる。

CNT で補強された線維補強複合材料では、繊維-母材間の界面で力の伝達が行われるため、界面状態が複合材料の力学挙動に大きな影響を及ぼすことが知られている。そこで不完全界面の影響については粒子強化複合材料の解析に有効であった Spring-

interface model と Principle of strain equivalence (Yanase and Ju, 2014) を用いて評価を試みたが、長繊維の界面損傷にともなう特異性 (=singularity) の問題に直面し評価を行うことができなかった。長繊維の不完全界面の数式モデル化については今後の研究課題である。

## 研究業績

- [1] Yanase, K., Moriyama, S., Ju, J.W.: Effects of CNT waviness on the effective elastic responses of CNT-reinforced polymer composites, *Acta Mechanica*, 224(7):1351-1364, 2013.
- [2] Yanase, K., Moriyama, S., Ju, J.W.: Effective elastic responses of CNT-reinforced polymer composites with CNT waviness, *ASCE Engineering Mechanics Institute Conference (EMI 2013)*, Northwestern University, Illinois, USA, 2013.
- [3] Ju, J. W., Yanase, K.: *Handbook of micromechanics and nanomechanics: Chapter 27 Size-dependent probabilistic damage micromechanics and toughening behavior of particle/fiber reinforced composites* (edited by S.Li and X-L. Gao), Pan Stanford Publishing, 2013.
- [4] Yanase, K., Ju, J. W.: Overall elastoplastic damage responses of spherical particle reinforced composites containing imperfect interfaces, *Int. J. Damage Mechanics*, 23(3), 411-429, 2014.
- [5] Endo, M., Yanase, K.: Effects of small defects, matrix structures and loading conditions on the fatigue strength of ductile irons, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 69, 34-43, 2014.

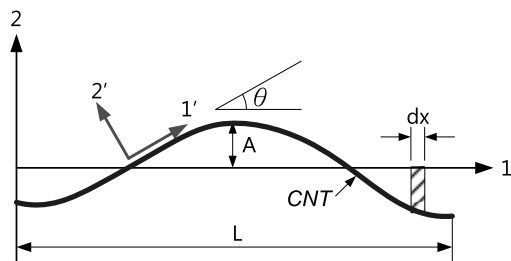
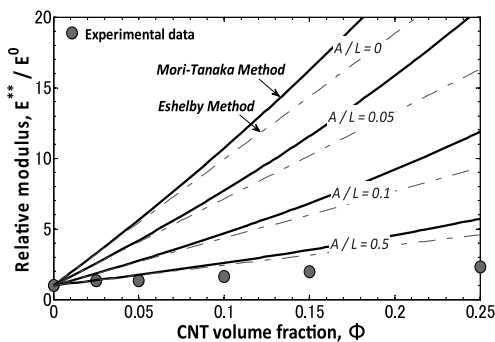
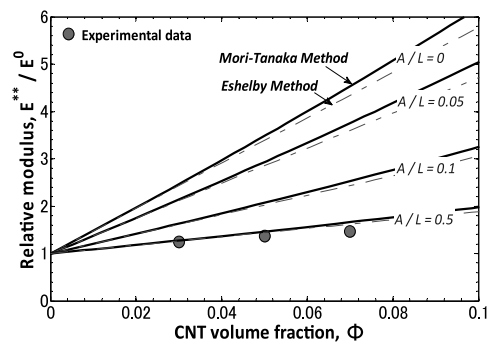


Fig. 2 Representation of fiber waviness.



(a) CNT-polystyrene composite



(b) CNT-PEEK composite

Fig. 3 Variation of the effective Young's modulus of composites with fiber volume fraction.

女性の骨の一生からみた骨粗鬆症の予防  
—ライフステージに応じたセルフケア課題の明確化—

骨ウェルエイジングアプローチ（課題番号：136002）  
研究期間：平成25年4月1日～平成28年3月31日  
研究代表者：佐久間良子      研究員：有田久美、兼岡秀俊

### 【研究の背景と目的】

日本の骨粗鬆症患者は1,280万人（男性300万人、女性980万人）と推測され、要支援・要介護の認定者数はこの10数年で2倍以上に増加している。超高齢社会を迎えた我が国において、高齢者の生活機能や生活の質（QOL）の低下予防、健康寿命の延伸のためには、骨粗鬆症の発症予防は重要課題である。

女性の骨粗鬆症対策は、思春期から始まる。女性の骨量は、初経発来から2～3年間で急激に上昇し、18歳前後で最大となる。この最大骨量をできる限り高くすることが骨粗鬆症の一次予防である。ついで、閉経後に必発する骨量減少を可能な限り抑制することが二次予防である。具体的な予防法としては、カルシウムが基本である。しかし、平成26年国民健康・栄養調査の年齢階級別にみたカルシウム平均摂取量は必要量を満たしていない。さらに、厚生労働省では平成7年から老人保健法に基づき、平成20年度からは健康増進法に基づき、40歳から骨粗鬆症検診が実施されているが、全国の検診率は約4%と低い状態で推移している。また、現在、骨粗鬆症に関する健康教育は高齢者を対象としたものが多く、女性の一生を見据えた骨量の増加・維持への一次予防を狙いとしたアプローチは実施されていない。

本研究では、骨粗鬆症の一次予防としての効果的な介入時期とされる、骨量が急増する思春期（初経発来後～18歳未満）の女性（A女子高校、1・2年生）と、骨量の急減期となる更年期を迎えるその母親を対象に、①食物摂取頻度調査 FFQg Ver.4.0 調査票を用いた栄養調査と、②骨粗鬆症に関する意識調査を実施し、認識の実態と栄養摂取状態を評価した。その結果、骨粗鬆症予防に関するセルフケア課題、

および有効な一次予防の啓発の必要性について以下のことが明らかになった。

### 【研究成果】

A女子高校1・2年生とその母親の642組に調査依頼を行った。母親と娘ペア（以下母娘ペア）での回収率は336組（52.3%）、有効回答率は145組（45.8%）だった。無効回答の理由の多くは、食物摂取頻度調査の母親の生年月日の記載漏れや、調査項目の記載漏、記載方法の間違いであった。今回は、結果の返送を希望した母娘65組の結果について述べる。（食物摂取頻度調査票の記載間違い、不明瞭な回答の確認ができた対象である）

## 1. 栄養調査の結果

娘は、年齢 $16.3 \pm 0.6$ 歳（平均 $\pm$ 標準偏差）、BMIは $20.0 \pm 1.8$ （普通体型）、身体活動レベルIであった。摂取エネルギー量は $1,905.4 \pm 527.2$ kcal/日（年齢階層別および身体活動レベルにおける推定必要エネルギー量：2,050kcal/日、日本人の食事摂取基準2015年版）であった。カルシウムの摂取量は、 $527.6 \pm 366.5$ mg/日（年齢階層別推定平均必要量 550mg/日、推奨量 650mg/日）、ビタミンDの摂取量は $5.6 \pm 3.8$  $\mu$ g/日（年齢階層別目安量 6.0 $\mu$ g/日）であった。

母親は、年齢 $47.1 \pm 4.3$ 歳、BMI は $21.2 \pm 2.6$ （普通体型）、身体活動レベル I であった。摂取エネルギー量は  $1,803.6 \pm 511.6$  kcal/日（年齢階層別および身体活動レベルにおける推定必要エネルギー量：1,750 kcal/日）であった。カルシウムの摂取量は、 $495.3 \pm 266.5$  mg/日（年齢階層別推定平均必要量 550 mg/日、推奨量 650 mg/日）、ビタミン D の摂取量も  $5.2 \pm 3.4$   $\mu$ g/



日（年齢階層別目安量  $5.5\mu\text{g}/\text{日}$ ）であった。

以上のように母娘ともに、カルシウムの摂取は不足状況であった。また、腸管からのカルシウムの吸収を促進するビタミンDも摂取不足であり、骨粗鬆症予防に課題を抱える食生活状況が明らかとなった。その他の栄養素では、水溶性ビタミンであるビタミンB<sub>2</sub>、B<sub>6</sub>、ビオチン、ビタミンCや、マグネシウム、鉄が母娘ともに摂取不足だった。そこで、母娘ペアでの栄養素の摂取状況に違いがあるのか、t検定で比較したが、差は認められなかった（ $p>0.05$ ）。したがって、母と娘の日常の食事摂取状況は似ているといえる。

カルシウムの推定平均必要量が摂取できている群39名と、不足群91名の2群に分け、栄養素摂取量と食品群別摂取状況を比較した。摂取エネルギー量、ビタミンDの摂取量に差があった（ $p<0.01$ ）。また、食品群別摂取状況では、乳類の摂取量の差が最も大きく、他に、豆類、魚介類、緑黄色野菜、海藻類、イモ類の摂取量に差が認められた（ $p<0.01$ ）。つまり、摂取エネルギー量が高い人は、乳類の摂取量が多く、適正なカルシウム摂取ができていた。乳類のカロリーは高く、量が増えれば相対的に摂取エネルギー量は高くなるが、対象の摂取エネルギー量は  $2,267.7\pm 589.6\text{kcal}/\text{日}$  であり、全く問題ない量であった。しかし、骨粗鬆症の予防と治療のガイドラインでは、骨粗鬆症の予防には  $700\sim 800\text{mg}/\text{日}$  のカルシウム摂取が必要とされ、さらなる摂取が望まれる。また、食事内容では多様な食品を摂取する食生活であることが示され、適正なエネルギー量を摂取できる、栄養バランスが整った食生活を基本とし、加えて意識的にカルシウム摂取を促す食事指導が有効な食事指導となることが示唆された。

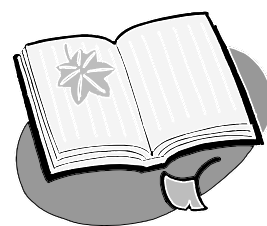
## 2. 骨粗鬆症に関する意識調査

骨粗鬆症について「骨がもろくなり、骨折しやすくなる」と知っているものは、母親では100%、娘では81.0%であった。娘では、その他の知識についてほとんどの回答はなかったが、母親は、骨粗鬆症による骨折は寝たきりの原因にもなる：75.4%、症状が分かりにくい：50.8%は認識していた。また、母親は、骨粗鬆症になりやすくなるのは、50歳代と40%が回答し、娘は、40歳、60歳、年齢に関係ない、

にそれぞれおおよそ20%が回答していた。現在実施している骨粗鬆症の予防行動においては、母親では、乳製品を積極的に摂るが40.0%で最も多く、次いで体を動かす29.2%、喫煙・飲酒の制限に26.2%が挙げられ、何もしていないは27.7%であった。娘では、乳製品を積極的に摂る28.6%、定期的な運動20.6%、正しい姿勢を心掛ける19.0%の順に回答が挙げられ、何もしていないが50.8%と最も多かった。骨粗鬆症検診については、娘は81.0%が、母親では7.7%が知らないと回答した。母親の1.6%はすでに検診を受けており、67.2%が受けてみたいと回答していた。骨粗鬆症のイメージはつくものの、認識や予防に関する知識は浅く、適切な知識の普及に向けた保健指導の必要性が示唆された。

## 3. 結 論

女性の骨粗鬆症の予防には、18歳ごろまでに可能な限り高い最大骨量を獲得し、閉経後に必発する骨量減少を可能な限り抑制する、ライフステージに応じた予防が重要である。ある試算によれば、骨量減少を10%減らしても、骨折閾値への到達が2年遅れるのに過ぎないのに対して、最大骨量の獲得が10%高くなれば、骨折閾値への到達を13年遅らせることができるかとされている。今回対象とした、母娘のライフステージは、両者において骨粗鬆症予防の大切な時期であったと考える。特に娘への保健指導は重要であり、この時期の食生活は母親に委ねられている。実際、母娘の食生活も似ていることが本調査でも示されていた。したがって、骨粗鬆症の一次予防においては、母娘ペアで同時に保健指導を行うことが必要である。思春期や更年期を対象とする保健指導は、学校や職場等パンフレットなどを用いて啓蒙されることが多く健康教育を受ける機会は少ない。学校の場合は、母娘ともに参画できる機会も多く、今後は積極的に養護教諭との連携を図りながら保健指導などで関わっていくことを計画している。



# 嚥下困難な高齢者に適した服薬処方の構築

高齢社会を支えるための製剤開発（課題番号：136006）

研究期間：平成25年4月1日～平成28年3月31日

研究代表者：湯川美穂      研究員：安藝初美、安東勢津子、上原清子、塩井誠次郎（平成25年10月16日～平成26年3月31日）

## 研究成果

わが国は、世界のどの国も経験したことがない高齢社会を迎えている。健康長寿の最大課題の一つが骨や関節の健康であり、骨粗鬆症による骨折危険率の増大は生活機能や生活の質の低下だけでなく、長期的には死亡リスクを有意に上昇させる。骨粗鬆症治療薬の第一選択薬である Alendronate (ALN) は消化管からの吸収率が極めて低く、コップ 1 杯の水とともに服用後 30 分以上、立位または座位を維持しなければならない。一方、加齢に伴う嚥下障害は低栄養・脱水や肺炎といった身体へ悪影響を及ぼす。本研究は、① ALN の吸収性の改善を指向したプロドラッグ Peptidyl alendronate (Pep-ALN) の開発と ② 高齢者に適した服薬処方の構築を目的とした。

① ALN は分子内にアミノ基を有するため、アミノ酸とペプチド結合を形成しうる。そこで、ジあるいはトリペプチド、ペプチド様化合物を細胞内に取り込む PEPT1 の広い基質認識性を利用して ALN の吸収性の改善を図った。

分子モデリング計算を用いた Pep-ALN 合成候補探索：  
ペプチド基 (Pep: GF、AF、VF、LF、FF) を ALN に導入した Pep-ALN を合成候補とし、分子モデリング計算から得られた最適化構造について、COSMO-RS 法を用いて油水分配係数 ( $\log P$ ) を算出した。  
 $\log P$  は ALN、GF-ALN、AF-ALN、VF-ALN、LF-ALN、FF-ALN の順に増大し、Pep の導入による脂溶性の増加が期待された。

Pep-ALN の合成：Boc-Pep-OH と N-ヒドロキシコハク酸イミドをカップリングして活性エステルとした Boc-Pep-Suc と ALN を反応させ、塩酸にて脱 Boc した後、Pep-ALN を得た。プロテインシークエンサーを用いたアミノ酸配列の確認、元素分析、NMR、

MSによって同定した。収率は、GF-ALN、AF-ALN、VF-ALN、LF-ALN、FF-ALNそれぞれ30.8%、73.1%、32.7%、56.0%、18.5%であった。また、Polymeric HPLC カラムおよび移動相としてクエン酸三ナトリウム二水和物、リン酸水素二ナトリウム、メタノールおよびアセトニトリルの混合溶液を用いた HPLC の保持時間は、ALN、GF-ALN、AF-ALN、VF-ALN、LF-ALN、FF-ALN の順に長く、分子モデリングから得られた脂溶性の順と一致した。

Pep-ALN のラット小腸膜透過性実験：フランチ型  
拡散セルを用いてラット小腸膜からの ALN および  
Pep-ALN の透過性を検討した。ドナー容量は1.2mL、  
透過面は 0.64cm<sup>2</sup>、レセプター容量は 5mL であった。  
10分までの小腸単位面積あたりの透過量から算出し  
た透過速度定数  $k$  (min<sup>-1</sup>) は、AF-ALN、VF-ALN、  
FF-ALN、GF-ALN、ALN の順に増加した。LF-ALN  
を除く Pep-ALN では、ドナー溶液およびレセプター  
溶液における Pep-ALN の HPLC の保持時間が一致  
した。

Pep-ALN の消化管吸収性の評価：*in situ* 腸管灌流法にしたがって、ラット小腸内に試験薬を灌流した。灌流液における ALN の残存濃度には変化がみられなかったのに対して GF-ALN、VF-ALN および FF-ALN の残存濃度には減少がみられた。また、Pep-ALN のラット小腸膜からの吸収率に向上がみられ、特に VF-ALN は65%と最大であった。

以上の結果から、Pep の ALN への導入により脂溶性、膜透過性および吸収性の向上が得られ、VF-ALN は PEPT1 によって腸間膜を透過する ALN の有用なプロドラッグとして期待できる。

② 嚥下困難者には、とろみ調整食品（とろみ剤）を使って水に適度なとろみを付与したとろみ水を服

薬補助や水分補給として使用する。現在、使用されるところみ剤の多くはキサンタンガム (XG) を主原料としている。こんにゃく粉 (KP) の主成分であるグルコマンナン (KGM) は、XG 同様に水溶性多糖類で、その水溶液は高い粘度を示す。KP はノンカロリーでアレルギー性のない食物繊維として種々の生理機能も期待できるため、KP を使った新規なところみ剤の作成を試みた。

KGM の低分子量化：精製度の異なる 2 種の KP1 と KP2 を原材料とし、クエン酸酸性下、KP のエタノール懸濁液を130℃の油浴で還流時間を0.5、1.0、2.0、4.0時間と設定して KP の加水分解物 hKP1 と hKP2 を生成した。KP と hKP の粘度平均分子量  $M_v$  は、局方毛細管粘度計法により極限粘度  $[\eta]$  を求め、Mark-Houwink-桜田の式から算出した。KP の  $M_v$  は約  $70 \sim 100 \times 10^4 \text{ g mol}^{-1}$  であるのに対して還流時間を2.0時間以上として得られた hKP1 および hKP2 の  $M_v$  は、いずれも約  $40 \times 10^4 \text{ g mol}^{-1}$  とほぼ一定となった。

hKP の力学的特性：0.3%～1.0% KP および hKP 溶液を調製し、Brookfield 社製 RS-CPS+レオメータを用い、20℃、ずり速度  $50 \text{ s}^{-1}$  で120 秒後の粘度を測定した。hKP 溶液の粘度は、測定濃度範囲において KP 溶液よりも低い値を示した。日本摂食・嚥下リハビリテーション学会は液体の粘度を力学指標とした 3 段階のところみの境界値、薄いところみ (50～150 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )、中間のところみ (150～300 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )、濃いところみ (300～500 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ) を提言している。hKP 溶液は、0.5%～1.0%でところみの基準にすべて該当し、ところみ水としての使用の可能性を示した。厚生労働省医薬食品局が定める嚥下困難者用食品の試験法に基づき、0.3%～1.0% KP および hKP 溶液のテクスチャー (硬さ、付着性) を山電 Model RE2-33005B クリープメータを用い、20℃で測定した。KP 溶液と比較して hKP 溶液は硬さおよび付着性は減少し、柔らかく、べとつきの少ない溶液であることが分かった。

以上の結果から、KP は新規ところみ剤原料として有益な素材であり、KP の新たな可能性を見出した。

## 研究業績

湯川美穂, 他：こんにゃく粉を使用した服薬用とろ

み水の力学的特性, 高分子論文集, 72(10):648-651, 2015.

湯川美穂, 他：市販ところみ調整食品を使用したところみ水の物性評価, 九州薬学会会報, 69:19-24, 2015.

