



琉球大学学術リポジトリ

University of the Ryukyus Repository

Title	科学の遺産と伝統の継承
Author(s)	田幸, 正邦
Citation	琉球大学農学部学術報告 = The Science Bulletin of the Faculty of Agriculture. University of the Ryukyus(58): 35-45
Issue Date	2011-12
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/24354
Rights	

科学の遺産と伝統の継承

田幸 正邦

琉球大学農学部亜熱帯生物資源科学科

The Succession of Legacies and Tradition of Science

Masakuni Tako

Department of Subtropical Bioscience and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus

キーワード: 科学の遺産の継承, 科学の伝統, 科学と芸術の融合, 多糖類のゲル化機構, 多糖ゲルの原理, ファン・ト・ホッフ, エミール・フィッシャー

Key words: Succession of legacies of Science, Tradition of science, Fusion of science and art, Gelation mechanism of polysaccharides, Principle of polysaccharide gels, vant Hoff, Emil Fischer.

1. はじめに

私は幸運にも多くの偉大な科学者の末裔である。それも立体化学の創始者(ファン・ト・ホッフ)と確立者(エミール・フィッシャー)は学曾祖父である。所謂、私のライフワークである「多糖類のゲル化機構」は彼らが創始して確立した立体化学を継承した分野である。

本稿では、私が約40年間科学の遺産と伝統を継承し、研究教育に取り組んで得た成果が芸術(音楽)と深く関わり合いながら展開した事について紹介する。また、科学と芸術が融合する根拠を偉大な科学者の系譜をたどりながら紹介したいと思う。さらに、地球を含めた宇宙の進化の過程で、物理進化を提唱する根拠についても紹介したい。

2. 多糖類の分子構造と機能性(物性)の相関の閃き

2.1. 修業時代

ゲルは私たちの生活環境に満ち溢れ、多彩なゲル製品が生活を豊かにしている。ゲルを実験研究する物理化学の分野にレオロジーがある。レオロジーとは液体および半固体の流動と変形に関する学問である。私は、主としてレオゴニオメーターの測定結果をニュートンの修正粘性式およびマックスウエルモデルから導かれた動的粘弾性式で数値化して比較検討している。

私がレオロジーの実験研究を開始したのは、1972年4月に九州大学大学院農学研究科博士課程食糧化学工学専攻に入学した時からである。野村男次先生から、「細菌の生成する粘質多糖が食品工業

で増粘、安定、保水或いはゲル化剤として利用可能かどうかを工業的に使用されている多糖類と比較検討しなさい」と助言され、実験を開始した¹⁾。修士課程(鹿児島大学大学院農芸化学専攻澱粉利用学講座)ではCoryneform bacteria strain C-8の生成する粘質多糖の化学構造について行った。幸い、蟹江松雄先生および永濱伴紀先生のお許しを得て細菌の生成する多糖のレオロジーに関する研究を博士課程で開始した。

1) 実験結果に疑問?

博士課程2年の5月に、細菌の生成する粘質多糖(化学構造が未知)、グアーガム、ローカストビーンガム、アルギン酸ナトリウムおよびキサンタンガムの結果を図にまとめると、粘質多糖とグアーガム(ガラクトマンナン)の1種の結果が良く一致した²⁾。食品製造工学講座の先生方(野村男次教授、國府田佳弘助教授および早川功助手)に、「どうしてこの2つの多糖の結果が一致するのでしょうか?」、と質問すると、「はてな...?」でした。鹿児島大学の先生方(蟹江松雄教授、永濱伴紀助教授および藤本滋生助手)および日本食品化工研究所の研究者との報告会でも、「どうして一致するのだろうか?」であった。

2) 自然科学と芸術の融合⁸⁾

芸術は私たちの美的感情を誘発させるものである。絵画、彫刻および文学は観念的芸術で、音楽は感性的芸術である。私たちが美しいと感じる心を育む対象は自然界に満ち溢れている。幼年から少年期に自然の万物の美を感受して感動し、成長の過程でこれらに秘められている奥深い姿や営み(原因)を体系的に知りたいという好奇心(知識欲)が湧き出るようになる。

自然を体系化した学問、自然科学は、感性(感受性)が受け取った経験(結果)の上に概念の統一を創り出す。この概念で体系を創る能力が理性である。従って、自然科学は感性に加えて理性を育む学問である。

一般的に、自然科学と芸術は、それぞれ理性と感性の両極に位置するものと考えられがちであるが、私たち人間を含めた自然界の美や営みを追究する観点から、両者に重なり合う部分がある。

運命の日(1973年7月16日:26才)がやって来た。その日は学部時代の級友の當間孝子(当時宝酒造研究所:現在琉球大学医学部教授)さんに、修士論文のコピーを郵送して夜の8時頃アパートに帰り、ベートーヴェンの「月光ソナタ」の第1楽章を聴いていたある瞬間に、「両者の結果が一致するのは分子構造が類似するからだ!」と、閃いた。その直後、蟹江先生と父正英に手紙を書いた。しかしながら、便箋が涙でぬれ、ちり紙で拭きながらペンを進めた記憶がある。

これが、自然科学と芸術が融合した瞬間であった。その瞬間にとつもないエネルギーが発生して、「多糖の化学構造と機能性に相関がある」と閃いた。重要な問題を解決出来ないでいる時、級友との友情の余韻の中で、ベートーヴェンのソナタによって閃いたのであった。

3) 高い志

野村先生は1959-60年にストックホルム大学(スウェーデン)のハンス・フォン・オイラー・ケルピン教授(1929年ノーベル化学賞受賞)の下に留学した経験があった。私が九州大学在学中、オイラー先生や彼がベルリン大学で師事した多くの偉大な研究者の実話を沢山聞いた。学生が偉大な学者の話聞いて自身を奮い立たせ、高い志を抱き、努力すれば良い研究成果を出せる、との信念を抱いた修業期間であった。野村先生は、また、京都大学農学部農林化学科在学中のみならず卒業後もポーラグラフをヘイロフスキー教授(プラハ大学:1959年ノーベル賞化学賞受賞)と共同で開発した志方益三先生の薫陶を受けた⁹⁾。

これから紹介する偉大な研究者は芸術にも秀でた方が多い。従って、彼らの研究成果は芸術との融合の産物である、と推察される。

3. 偉大な科学者の系譜

3.1. 学曾祖父 ファント・ホッフ(第1回ノーベル化学賞受賞:1901年)^{10,11)}

ホッフ先生(1852-1911年)はボン大学でケクーレ(ベンゼン環を解明:建築学(絵画)が得意)からリービヒの化学の講義を聴いて転学科の下で研究した後、彼の推薦でパリ・ソルボンヌ大学(ヴェルツ教授:ケクーレの師でもあった)を経て、ユトレヒト大学(オランダ)で博士論文を作成していた時、ヴィスレヌス(ヴェルツブルグ

大学:ドイツ)の論文の結論:「牛肉エキス又は牛乳から分離した乳酸は、原子組成は同じだが空間の配置が異なるはずである!」、を図書館で読んで散歩していた或瞬間に、「炭素原子は正四面体を採る」と閃き「不斉炭素(4つの手が異なる原子または原子団と結合した)と光学活性および立体異性体との相関」を解明した(1874年:22才)¹¹⁾。従って、彼は立体化学の創始者である。ファン・ホッフは、さらに、浸透圧の法則(ボイル・シャルルの法則から導いた)および質量作用の法則を解明した(ノーベル賞受賞対象)。ファン・ホッフはマックス・プランクの招聘を受けて1896年にベルリン大学に赴任した。先生はピアニストで、英語やギリシャ語で詩を歌い、後述する私の学祖父オイラー先生がストックホルム大学に移った後も指導した(写真1)。



写真1. 学曾祖父 ファント・ホッフ先生

3.2. 学曾祖父 エミール・フィッシャー(第2回ノーベル化学賞受賞:1902年)^{12,13)}

フィッシャー先生(1852-1919年)はボン大学でケクーレの講義を聴いた後、ストラスブール大学に移りバイアー(前述のケクーレの弟子で1905年ノーベル化学賞受賞:染料の開発と工業化)の下で博士号を取得後、ミュンヘン大学やドイツ国内の他の大学を経て1892年



写真2. 学曾祖父 エミール・フィッシャー先生

にベルリン大学に赴任した。

フィッシャー先生の研究はプリン(DNA、RNAの構成成分)、糖、それにタンパク質の広い分野にまたがる。グルコース、ガラクトース、マンノースおよびフラクトース等の六単糖の立体(化学)構造を決定し、構造の異なるオリゴ糖を酵素で特異的に分解して前述のファント・ホッフが創始した立体化学を確立した^{12,13)}。フィッシャー先生はオイラー先生の最初の化学の指導者で、後述する鈴木梅太郎先生の指導者でもあった。先生は、また、ピアニストであった(写真2)。

3.3. 学曾祖父 マックス・プランク(ノーベル物理学賞受賞:1918年)

プランク先生(1858-1947年)は1900年に光のエネルギーは振動数に比例する、 $E=h\nu$ (E 、エネルギー; h 、プランク定数; ν 、振動数)(量子仮説)を発表した(ノーベル物理学賞受賞対象)。プランク先生はオイラー先生の博士論文の審査委員で、ノーベル賞の推薦者でもあった。先生はピアニストで、アインシュタイン(ヴァイオリン)と物理学会やベルリン大学主催の晩餐会等で良く演奏した。プランク先生は人徳者であったので、現在、ドイツに彼の名前を附した研究所が多数あり、多くのノーベル賞受賞者を輩出している。

3.4. 学曾祖父 ハーマン・ネルンスト(ノーベル化学賞受賞:1920年)¹⁴⁾

ネルンスト先生(1864-1941年)はライプツヒ大学でオストワルド(1909年ノーベル化学賞受賞:触媒作用に関する研究)の助手をした後、ゲッチンゲン大学に移り、熱力学第3法則(絶対0K(−273°C)で物質のエントロピーはゼロになる)を発見した(ノーベル化学賞受賞対象)。彼は電球の特許を取得した事でも有名である。ネルンスト先生はオイラー先生がポストドクをしていた時(1897年)、彼をストックホルム大学のスバンテ・アレニウスに推薦した。

3.5. 学曾祖父 スバンテ・アレニウス(第3回ノーベル化学賞受賞:1903年)¹⁵⁾

アレニウス先生(1859-1927年)は有機酸の電離説を提唱し、ボイル・シャルルの法則から化学反応式を導いてノーベル化学賞を受賞した。前述のネルンストに「優秀な若い研究者を推薦してほしい!」、と依頼してオイラー先生が白羽の矢に当たった経緯がある。なお、オイラー先生はアレニウスへの感謝の意を、息子(1970年ノーベル生理・医学賞受賞)にスバンテを命名して表した。名前が人物を創った典型的な1例である。また、ストックホルム大学に彼の名前を附した研究所があり、親しく交流している研究者がいる。

3.6. 学曾祖父 鈴木梅太郎⁹⁾

鈴木先生(1874-1943年)は米ヌカから脚気を治癒するビタミン B1

(オリザニン)を単離して1910年に東京で開催された学会で発表し、翌年に論文(日本語)として発表した(ドイツ語による論文は1912年)。世界で初めてビタミンを単離したのであるが、ノーベル賞受賞から外れた(エイクマンおよびホブキンスが生理・医学賞を受賞:1929年)。鈴木先生は理化学研究所の創設者の1人であった。なお、先生は前述のエミール・フィッシャーの研究室に留学していた時、オイラー先生と親交を温めた¹⁶⁾

3.7. 学祖父 ハンス・フォン・オイラー・ケルピン(ノーベル化学賞受賞:1929年)^{16,17)}

オイラー先生(1873-1964年)はミュンヘンでレン・バツハ(肖像画家)に師事して画家を目指していたが、油絵の具の色彩を物理化学的に解明したいとの意志が芽生え、旧知のエミール・フィッシャー(ビュルツブルグで握手!)先生の研究室(ベルリン大学)に入学し(1893年;20才)、化学者になった。そして、前述のネルンストの推薦によりストックホルム大学のアレニウス先生の助手になり(1897年)、NADが水素伝達体である事を明らかにした。さらに、多くの酵素を商業的に開発する等の成果を挙げ、ノーベル賞を受賞(糖の発酵に関する研究:ハーデンと共同受賞)した。なお、オイラー先生は訪日の経験があり(京都大学片桐英郎および九州大学山藤一雄教授により招聘)、1800編もの論文を発表した大変な努力家であった(写真3)。また、息子(スバンテ・フォン・オイラー)もノーベル生理・医学賞(1970年:ホルアドレナリンの発見と機能の解明)を受賞した。

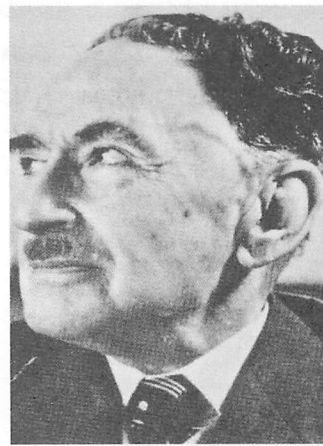


写真3. 学祖父 ハンス・フォン・オイラー・ケルピン先生

3.8. アルバート・アインシュタイン(ノーベル物理学賞受賞:1921年)¹⁸⁾

アインシュタイン(1879-1955年)はラテン語が不得意でミュンヘンにある高等学校を退学した後、スイスに移住し、チューリッヒ工科大学の物理学科を卒業した(1900年)。2年間家庭教師をした後、特許局の審査官に職を得、1905年に3編の優れた論文を発表した。その1編が前述のプランクの式を引用して紫外線を金属面に照射した時

に電子が飛び出る現象を解明(光電効果:ノーベル賞受賞対象)した論文である。アインシュタインはマックス・プランク先生の招聘を受けて1914年にファント・ホッフ先生の後任としてベルリン大学に赴任した。

アインシュタインは幼少よりヴァイオリンに親しみ、終生モーツァルトの作品を弾いて研究生生活を展開した。彼の臨終の言葉は「モーツァルトの音楽が聴けなくなるのが寂しい」、であった。

3. 9. 学祖父 志方益三⁹⁾

志方先生(1895-1964年)はブラハ・カレル大学(チェコ)に留学してヘイロフスキー教授(1959年ノーベル化学賞)と共同でポーラログラフを開発し、その1台を日本に持ち帰り、京都大学農学部にて林産化学講座を開設して電気化学の分野の発展に貢献した。残念な事に、先生もノーベル賞受賞から外れた。鈴木梅太郎(満州国大陸科学院院長)先生に乞われて1942年に副院長として大陸に移った。なお、志方先生は鈴木先生の下で卒業論文研究(東京大学農芸化学科)を、就職した理化学研究所でも鈴木先生の下で研究を行った。先生は8年間シベリアで抑留生活の後、名古屋大学に赴任した。

3. 10. 学父 蟹江松雄

蟹江先生(1912-2001年)は愛知県名古屋市の御出身で、京都大学農学部農林化学科発酵醸造学講座(片桐英語郎教授)を卒業した後、鹿児島高等農林専門学校に赴任した。蟹江先生は長年薩摩焼酎の品質向上の研究に従事して産業の発展に大きく貢献した。その功績をたたえて鹿児島大学農学部にて先生の胸像が建立されている(2007年11月)。また、先生は鹿児島大学学長に就任し(1975-81年)、大学の発展にも大きく貢献した。



写真4. 学父 蟹江松雄先生

3. 11. 学父 野村男次⁹⁾

野村先生(1920-1990年)は山口県萩市の御出身で、京都大学農学部農林化学科に入学直後、前述の志方先生を訪問して敬意を表し、在学中のみならず卒業後も薫陶を受けた。野村先生は鈴木および志方先生の助言によって満州鉄道に入社し、先生方から多くの指導

を受けた。シベリアでの抑留生活(約2年間)を経て京都大学から山口大学に赴任後、1959-60年にストックホルム大学のオイラー教授の下でレダクトンに関する研究を行った¹⁹⁾。野村先生は九州大学に、1971年に赴任し、愛媛県の温州ミカンの工業化(ポンジュース)に大きく貢献した。

なお、野村先生はスウェーデンから帰国の際、琉球大学に招聘されて農家政工学部家政学科で「ビタミン」に関する集中講義を行った(写真4)。



写真4. 学父 野村男次先生

4. 多糖類のゲル化機構

4. 1. ゲルの世界は未開拓

私は1982年3月に九州大学から博士号を取得し、4月から琉球大学農学部農芸化学科製糖化学講座に助手として採用された。

早速、多糖類のレオロジーに関する論文を検索した結果、それらの構造と物性の相関については未開拓の状態にある事が分かった!そこで、岩本製作所(京都)から測定機器を借用(後年購入)して胸をおどらせながら測定を開始した。前述の閃きから丁度10年後の事であった。

4. 2. 多糖類のゲル化機構

最初にκ-カラギーナン、ι-カラギーナンおよびアガロース(寒天)等の海藻から分離された多糖類を測定した。これらの化学構造は類似するが、ゲル化特性は異なる。従って、古くから多くの研究者によって追究された研究材料であった。

1) κ-カラギーナン²⁰⁾

本多糖はNa⁺(直径:3.72Å)の共存下でゲルを形成しない。しかしながら、直径が大きいK⁺(直径:4.62Å)を添加するとゲル化する。この現象は良く知られていた。理論的に1つのイオン結合と2つ以上の静電気結合が形成されてゲル化する。図1に、κ-カラギーナンの

分子内架橋を示した。K⁺は1,3-結合したD-ガラクトースのC4に置換する硫酸基の酸素と隣接する1,4-結合した3,6-アンヒドロ-D-ガラクトースの環状酸素との間に形成される。分子間結合はK⁺が分子の異なる硫酸基の酸素と静電気結合によって形成され、ゲル化する²¹⁾。
κ-カラギーナンの分子に、私が提唱した部位以外に理論的(イオン結合および静電気結合)および空間的に結合する部位は存在しない。

多糖ゲルを分子レベルで解明したのは私が世界で最初である(1986年)。κ-カラギーナンのゲル化機構がその後の多糖類のゲル化機構の解明に大きな示唆を与えた。

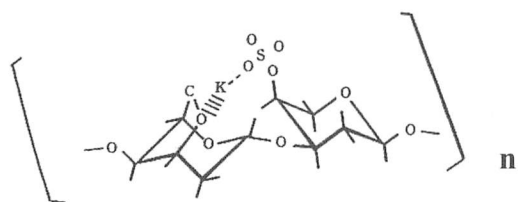


図1. κ-カラギーナンの分子内K(カリウム)架橋。
化学結合: 短線はイオン結合、横破線は静電気結合。

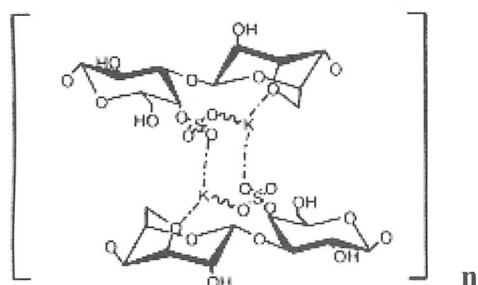


図2. κ-カラギーナンの分子間K(カリウム)架橋。
化学結合: S字線はイオン結合、長短線は静電気結合。

2) ι-カラギーナン²²⁾

本多糖は硫酸基が2位置換し、Ca²⁺の共存下でゲル化する。この現象も周知の事であった。Ca²⁺は2価のカチオンなので2つのイオン結合を形成する。同一分子の隣接する硫酸基の酸素間に分子内Ca²⁺

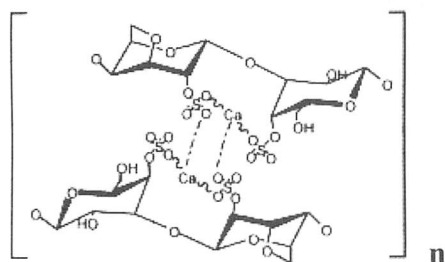


図3. ι-カラギーナンのゲル化機構。
化学結合: S字線はイオン結合、長短線は静電気結合。

架橋(イオン結合)が優先的に形成された後、分子間にCa²⁺架橋(静電気結合)が形成され、ゲル化する(図2)。

3) アガロース(寒天)²³⁻²⁵⁾

本多糖は硫酸基を含まず、また3,6-アンヒドロ-L-ガラクトース(3,6-アンヒドロ-D-ガラクトースの鏡像体)が構成糖の1つである。アガロースのゲルは尿素(4.0M)を添加すると消失したので水素結合が関与する。優先的に3,6-アンヒドロ-L-ガラクトースのヘミアセタール酸素と隣接するD-ガラクトースのOH4の間に分子内水素結合が形成され、前者の環状酸素と分子の異なる同残基のOH-2との間に水素結合が形成されてゲル化する。なお、アガロースのゲル化機構は¹Hおよび¹³C NMR解析によって支持されている²⁶⁾。(図3)

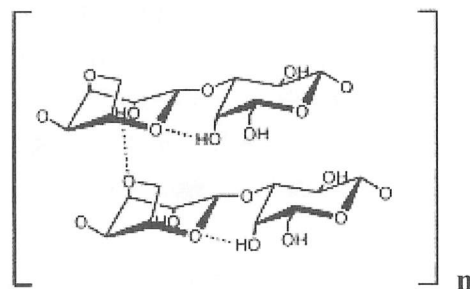


図4. アガロースのゲル化機構。
化学結合: 点線は水素結合。

4.3. その他多糖類のゲル化機構

その後、多くの微生物(キサンタンガム³²⁷⁻³⁷⁾、ジェランガム^{38,39)}、脱アセチルラムザンガム⁴⁰⁾、カードラン⁴¹⁾および植物(アルギン酸⁴²⁾、アミロース^{43,44)}、澱粉(米、馬鈴薯、および小麦)⁴⁵⁻⁵⁰⁾多糖のゲル化機構を明らかにした。

4.4. 多糖類の構造と機能性

上述のゲルを形成するアミロース、ジェランガムおよびカードランと化学構造は類似するがゲルを形成せず、高い温度でも安定な動的粘弾性を有するアミロペクチン(米、馬鈴薯、および小麦)⁵¹⁻⁵⁶⁾、ウエランガム⁵⁷⁾、ラムザンガム^{58,59)}、S-657ガム⁶⁰⁾、S-88ガム⁶¹⁾およびシゾフィラン⁶²⁾等の分子内結合の様式について検討した。これらの多糖類は構造と機能性との相関を検討する絶好の機会を与えてくれた。

4.5. 多糖ゲルの原理⁶³⁾

多糖類のゲル化機構を検討する過程でゲルの原理を解明した。多糖分子は、水分子が0°Cで氷を形成する時の水素結合を、室温でも形成させる事によってゲル化する事が分かった。多糖分子内外に水素結合、イオン結合、静電気結合、またはファンデアールワールズ力

等の化学結合が形成されて分子の揺らぎが減少した時、瞬間的にゲル化する。その時、カゴ効果および疎水効果が熱力学的に関与する。

4. 6. サトウキビ汁の限外濾過膜透過性⁶⁴⁻⁶⁹⁾

話は前後するが、私が採用された講堂は製糖化学であったので、最初に北部製糖株式会社の垣花郁夫氏の援助でサトウキビ圧搾汁の限外濾過膜透過性を調べた。また、糖蜜の電気泳動を行い、カリウムなどの無機物を除去する条件を検討した。

4. 7. 亜熱帯生物資源からの機能性多糖類

沖縄県は我が国で唯一亜熱帯に位置するので生物資源の宝庫である。本県で自生、或いは養殖により生産している亜熱帯生物資源(海藻、陸生植物、キノコ)から健康補助食品、食品および化粧品等に利用可能な多糖類(寒天⁷⁰⁾、メチル寒天⁷¹⁾、 κ -カラギーナン⁷²⁻⁷⁴⁾、 ι -カラギーナン^{75,76)}、フコイダン⁷⁷⁻⁸⁶⁾、アルギン酸⁸⁷⁻⁸⁹⁾、ガラクトマンナン^{90,91)}、ペクチン⁹²⁻⁹⁴⁾およびラムナン硫酸⁹⁵⁾)を分離精製して、これらの諸機能性を検討した。

その中で、養殖オキナワモズク(褐藻類)から酒酸を置換する新規のフコイダンを分離精製して製法と物質特許⁹⁶⁾、それに応用特許⁹⁷⁾を取得した。オキナワモズクは生育の北限が鹿児島県の奄美大島で、南限が沖縄県の西表島なので、本県が世界に誇る生物資源の一つである。フコイダンを製造する会社が県内に4社、県外に2社あり、健康補助食品、食品および化粧品等に使用され、国内外で販売されている。アセチルフコイダンは高い免疫賦活性を有し⁸⁵⁾、且つ硫酸基を置換(2倍)すると高い抗腫瘍活性を有することから⁸³⁾、将来抗腫瘍剤への応用の可能性がある。今年度はフコイダンの機能性について大連(中国)、ウィーン(オーストリア)、ストックホルム(スウェーデン)および東京で開催されたシンポジウムや会議などで宣伝を兼ねて発表した。

また、本県で養殖により生産されている緑藻類の1種のヒトエグサから分離したラムナン硫酸は機能性が高く、将来食品および化粧品への利用の可能性が高い⁹⁵⁾。

さらに、沖縄県民は300年前から北海道で産するナガコンブを食している。コンブを日常食しているのはこの地球上で沖縄県民のみである。私たちは、県民の長寿の源はナガコンブにあるのではないかと、本藻からフコイダンを分離してその生理活性を調べている^{98,99)}。これらの研究成果を教材に取り入れて学部3年生に健康長寿科学の講義を提供している。

最近、私たちはハツタケ(キノコの1種で本県でも自生)から新規の6-デオキシ-D-アルトロースを置換する多糖を分離した^{100,101)}。現在、多糖の化学構造と生理活性を調べている所である。

5. 偉大な科学者でもあったベートーヴェン

5. 1. 文筆家で読書家であったベートーヴェン

ベートーヴェンは私たちが想像出来ないほど丹念に手紙や書簡による交流を行っていた(現存数:約2000通)。これらの手紙に音楽作品に秘めた思いや姿を記したものがある。私はこれらの思いや姿を秘めた音楽作品を特定した¹⁰²⁻¹⁰⁴⁾。

ベートーヴェンは、また、無類の読書家であった。彼はシェークスピア、ゲーテおよびカントの書を読み、閃きを得て音楽を創造した(テンペスト、エグモント、多くの歌曲等)。

また、彼はシュトルムの自然哲学書を何度も反復して読んでいた。ベートーヴェンが自然を愛し、自然の営みを音楽の世界に描写したいとの意欲が湧いたのは(田園交響曲)、カントやシュトルムの自然哲学書に啓発された事によるものであろう。

5. 2. ビッグバンとブラックホールを創造

ベートーヴェンは、恋の苦悩の果てにビッグバンとブラックホールをピアノソナタ第23番「熱情」の第1と3楽章に創造した¹⁰²⁻¹⁰⁴⁾。科学が進歩する遙か以前(1805年)の事である。

私は「熱情ソナタ」を創造力の極限の産物と評価している。自然科学の分野でそれに匹敵するのがアインシュタインの一般相対性理論(1916年)である¹⁸⁾、と評価している。両者は奇しくも宇宙を対象にしている。

6. 学説「物理進化」を提唱

6. 1. 物理化学の講義で閃く

私は学部2年生を対象に物理化学を教えている。その中で、ビッグバンから人類が誕生するまでの進化の過程を紹介している。化学進化と生物進化はすでに提唱されているが、物理進化についてはなされてない。ここで、物理進化を提唱する根拠を紹介する。

6. 2. 物理進化

ビッグバン(約137億年前)の直後、宇宙にクォーク(素粒子)と電子等が存在していた(超高温)¹⁰⁵⁾。そして、これらのクォークおよび電子からカラー力により陽子および中性子が合成され、その数分後にヘリウムの原子核が核融合および核力によって合成された。ビッグバンから38万年後にクーロン力により電子が原子核の軌道上を回転するようになり宇宙が透明になった。この時の宇宙の温度は約5000°Cであった¹⁰⁶⁾。

そして、重力により塵や小さい固まりが衝突して星や銀河団が形成され、46億年前に太陽と地球が誕生した。その時までには比重の重い鉄およびニッケル等が核融合によって合成され、地球の内部に移

動して中心(核)を形成した。

原始の地球の大気に窒素、炭酸ガス、硫化水素および水蒸気等が雲を形成していたが、温度が低下した時、水蒸気が地上に降り注いで海が出来た。海にはシアン化水素、ホルムアルデヒドおよびアンモニア等が溶解していた。

原始の地球で雷、空中放電、紫外線や放射線が降り注ぐ中で次第に糖、アミノ酸、タンパク質、脂質、RNA および DNA 等が合成され、遂に最も単純な生命体(細菌)が発生(約 36 億年前)した。この過程を「化学進化」とロシアの生化学者オパーリンが提唱(1923 年)した¹⁰⁷⁾。

細菌が誕生した後、次第に複雑な生命体に進化し、約 28 億年前に光合成藻類(シアノバクテリア)が発生して酸素が大気中に存在するようになった。そして、約 4 億年前に陸生植物が、2 億年前に哺乳類が発生した。さらに、5000 万年前に霊長類が、私たち人類は約 150 万年前に誕生したのである(生物進化)¹⁰⁸⁾。

前述のように単純な分子から複雑な分子が化学結合によって合成され、生命体が発生するまでを「化学進化」と定義されている。また、「生物進化」はダーウィンが 1859 年に「種の起源」⁷¹⁾を発表した後、受け入れられた。

しかしながら、ビッグバンから原始の地球が創られるまでの過程に何ら定義されていない。素粒子から軽元素が、そして核融合によって重元素が作られた後、原始の地球が創られるまでの進化は正しく物理学の法則・原理に則ったものがある。

ここで、宇宙の誕生から原始の地球が創られるまでを「物理進化」と定義することを提唱する。この定義によって、地球を含む宇宙の進化を体系的、統一的に理解出来る。

7. 研究と教育

過去を振り返ると、琉球大学を卒業後鹿児島大学大学院修士課程に入学(1970 年 4 月)したのが最良の選択であった、と実感する。蟹江先生の下で研究の厳しさを教わり、先生の推薦で九州大学大学院博士課程への道が開けた。博士課程では科学の伝統の重要性を野村先生から学んだ。私は、しかしながら、本来であれば会社員として職歴を全うするはずであった(株式会社沖縄ホーム)。琉球大学に採用して下さった仲村実久(1923-2007 年)先生のお陰である。

多糖水溶液(ゲル)に力を加えると応力或いはひずみを生じる。条件を変えて(濃度、ずり速度、角速度、温度、無機塩、尿素、酸、或いはアルカリ)測定すると分子の集団の変化を解析する事が出来る。分子の集団は個々の分子が集めた状態であるから、個々の分子の特性が集団に反映される。多糖分子の特性が水素結合、イオン結合、静電気結合あるいはファンデーターワールズ力に帰属する事が明確になれば、それらの結合部位を推定する事が可能になる。

レオロジー解析法は特定した化学結合が多糖構造のどの部位で形成可能かどうかを追究する物理化学的手法の 1 つである。即ち、物理化学の理念に則り、多糖分子が水溶液中で前述の化学結合(二次結合)を形成する部位を体系的、統一的に追究するのがレオロジー解析法である。

多糖類のゲル化機構に関する研究は多くの学生との 2 人 3 脚で展開し、成果を 1983 年から毎年国内外の学会(シンポジウム)で発表した。

私が海外へ行く目的は他にもある。それは、ウィーンを訪問してベートーヴェンおよびモーツァルトと対話する事である。ベートーヴェンの心が私のそれと融合する瞬間が 1998 年の 5 月に訪れた。妻(幸子)が末期の乳ガンで入院していた時、ベートーヴェンの最後のピアノソナタ(第 32 番)の最終楽章を聴いていたある瞬間にジャズの原型(第 3 変奏)を発見した時であった。ベートーヴェンが苦悩のどの底にいる私に微笑んだ瞬間であったと理解している。

それ以来、ベートーヴェンの思いや姿を彼の音楽作品から洞察する事が出来るようになった(3 冊を刊行)¹⁰²⁻¹⁰⁴⁾。ベートーヴェンが人間的にも偉大であったのは、愛する女性(ひと)が亡くなった後も彼女への想いを作品に残し、唯一の愛を貫いた事にある。

この様な経緯から、7 年前に沖縄ベートーヴェン協会を設立してこれまで 9 回の演奏会を主催した。2009 年 7 月に、ウィーン(第 15 回ヨーロッパ糖質シンポジウムが並行して開催された)で私の講演(ジャズの起源はベートーヴェンにある)の後に日本からの留学生による演奏会を主催し、2010 年 2 月に私の講演(第九交響曲はベートーヴェンの集大成ー第 3 楽章は音楽芸術の至宝)の後に、250 名の合唱団員による第九交響曲演奏会を主催したのが脳裏に焼き付いている。

大学院在学中に閃きを得た後、節目にベートーヴェンにお世話になった。ベートーヴェンを彼の作品から洞察出来たのは、多糖ゲルの追究を並行して行えたからであろう。洞察力は多糖ゲルを追究する過程で修得したものと考えている。

最後に、大学で学生が学ぶ意義と目的は、教育に加えて研究にある。両者は正しく車の両輪である。学生が自身の人生の縮図を垣間見るのは私たち教員が研究する姿勢にある。彼らに、私たちが何を伝える事が出来るかが問われていると考える。

文献

- 1) 田幸正邦, 永濱伴紀, 野村男次. 1977. Coryneform bacteria strain C-8 の生成する粘質多糖の 2,3 のレオロジー的性質. 農芸化学会誌, 51, 389-395.
- 2) 田幸正邦, 永濱伴紀, 野村男次. 1977. Coryneform bacteria strain C-8 の生成する粘質多糖の流動特性. 農芸化学会誌, 51,

- 397-403.
- 3) 田幸正邦, 永濱伴紀, 野村男次. 1977. キサンタンガムの非ニュートン流動と動的粘弾性. 農芸化学会誌, 51, 513-517.
 - 4) 田幸正邦, 永濱伴紀, 野村男次. 1977. Coryneform bacteria strain C-8 の生成する粘質多糖とゼラチンとの協力効果. 日本食品工学会誌, 24, 565-569.
 - 5) Tako, M., Nakamura, S. and Nagahama, T. 1982. Studies on application of polysaccharide produced by Coryneform bacteria strain C-8. 1. Physical properties of sweet bean jelly containing the polysaccharide as a stabilizing agent. *Sci. Bull. Coll. Agric. Univ. Ryukyus.*, 29:79-86.
 - 6) Tako, M., Nakamura, S. and Nagahama, T. 1983. Synergistic effect of modified starch on the visous polysaccharide produced by Coryneform bacteria strain C-8. *Sci. Bull. Coll. Agric. Univ. Ryukyus.* 30:247-254.
 - 7) Tako, M. and Nakamura, S. 1984. Non-Newtonian flow and dynamic viscoelasticity of carboxyl methyl cellulose solutions. *Sci. Bull. Coll. Univ. Ryukyus.* 31: 57-66.
 - 8) 田幸正邦. 2007. 科学と芸術の融合. 琉球大学教育センター報, 20: 1.
 - 9) 野村男次. 1984. 食品工学との出会い. 松野印刷株式会社, 下関, pp. 6-29.
 - 10) Fleck, G. 1994. Jacobus van't Hoff, in *Nobel laureates in chemistry*. L.K. James, ed., American Chemical Society, Washington D.C., pp. 1-7.
 - 11) フェント・ホッフ. 1985. 立体化学. 田中豊助, 石橋裕, 原田紀子訳, 内田老鶴圃, 東京, pp. 1-42.
 - 12) Lucier, J.J. 1994. Emil Fischer, in *Nobel laureates in chemistry*. L.K. James, ed., American Chemical Society, Washington D.C., pp. 8-14.
 - 13) エミール・フィッシャー. 1963. 自叙伝. 桑田智訳, 廣川書店, 東京, pp. 207-233.
 - 14) McBryde, W.A.E. 1994. Walther Hermann Nernst, in *Nobel laureates in chemistry*. L.K. James, ed., American Chemical Society, Washington D.C., pp. 125-133.
 - 15) Fleck, G. 1994. Svante Arrhenius, in *Nobel laureates in chemistry*. L.K. James, ed., American Chemical Society, Washington D.C., pp. 15-21.
 - 16) ハンス・フォン・オイラー・ケルピン. 1964. 追想—修業時代—. 山藤一雄, 佐々木毅, 内田泰訳, 創健研究社, 東京, 43-63.
 - 17) Frieman, R.M. 1994. Hans von Euler-Chelpin, In *Nobel laureates in chemistry*. L.K. James, ed., American Chemical Society, Washington D.C., pp. 175-180.
 - 18) アルバート・アインシュタイン. 1979. 自伝ノート. 中村誠太郎, 五十嵐正敬訳, 東京図書, 東京, pp. 53-94.
 - 19) 野村男次, 大村浩久. 1969. レダクトンの化学. 内田老鶴圃新社, 東京, pp. 1-9.
 - 20) Tako, M. and Nakamura, S. 1986. Indicative evidence for a conformational transition in κ -carrageenan from studies of viscosity-shear rate dependence. *Carbohydrate Research*, 155, 200-205.
 - 21) Tako, M. and Nakamura, S. 1986. Synergistic interaction between κ -carrageenan and locust bean gum in aqueous media. *Agric. Biol. Chem.*, 50, 2817-2822.
 - 22) Tako, M., Nakamura, S. and Kohda, K. 1987. Indicative evidence for a conformational transition in ι -carrageenan. *Carbohydrate Research*, 161, 247-255.
 - 23) Tako, M. and Nakamura, S. 1988. Gelation mechanism of agarose. *Carbohydrate Research*, 180, 277-284.
 - 24) Tako, M. and Nakamura, S. 1988. Synergistic interaction between agarose and D-galacto-D-mannan in aqueous media. *Agric. Biol. Chem.*, 52:1071-1072.
 - 25) 田幸正邦. 1994. 多糖類のゲル化機構. 食品の物性 第18集 (山野善正, 松本幸雄編). 食品資材研究会, pp. 81-106.
 - 26) Gammini A., Toffamin, R., Murano, E. and Rozzo, R. 1997. Hydrogen bonding and conformation of agarose in methyl sulfoxide and aqueous solutions investigated by ^1H and ^{13}C NMR. *Carbohydrate Research*, 304, 293-302.
 - 27) Tako, M. and Nakamura, M. 1984. Rheological properties of deacetylated xanthan gum in aqueous media. *Agric. Biol. chem.*, 48, 2987-2993.
 - 28) Tako, M., Asato, A. and Nakamura, S. 1984. Rheological aspects of intermolecular interaction between xanthan and locust bean gum in aqueous media. *Agric. Biol. Chem.*, 48:2995-3000.
 - 29) Tako, M. and Nakamura, B. 1985. Synergistic interaction between xanthan and guar gum. *Carbohydrate Research*, 138, 207-213.
 - 30) Tako, M. and Nakamura, S. 1987. Rheological properties of Ca salt of xanthan gum in aqueous media. *Agric. Biol. Chem.*, 51: 2919-2923.
 - 31) Tako, M. and Nakamura, S. 1988. Rheological properties of depyruvated xanthan gum in aqueous media. *Agric. Biol. Chem.*, 52: 1585-1586.
 - 32) Tako, M. and Nakamura, M. 1989. Evidence for intramolecular associations in xanthan molecules in aqueous media. *Agric. Biol. Chem.*, 53: 1941-1946.

- 33) Tako, M. 1991. Synergistic interaction between xanthan and tara-bean gum. *Carbohydrate Polymers*, 15: 227-239.
- 34) Tako, M. 1992. Molecular origin for rheological characteristics of xanthan gum. *American Chemical Society Symposium Series*, 489, 268-281.
- 35) Tako, M. 1992. Synergistic interaction between xanthan and galactomannan. *J. Carbohydrate Chemistry*, 10: 619-623.
- 36) Tako, M. 1993. Binding sites for D-mannose-specific interaction between xanthan and galactomannan, and glucomannan. *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, 1, 125-131.
- 37) Tako, M., Teruya, T. and Tamaki, Y. 2010. Co-gelation mechanism of xanthan gum and galactomannan. *Colloid and Polymer Science*, 288, 1161-1166.
- 38) Tako, M., Sakae, A. and Nakamura, S. 1989. Rheological properties of gellan gum in aqueous media. *Agric. Biol. Chem.*, 53, 771-776.
- 39) Tako, M., Teruya, T., Tamaki, Y. and Konishi, T. 2009. Molecular origin for rheological characteristics of native gellan gum. *Colloid and Polymer Science*, 287, 1445-1454.
- 40) Tako, M., Tohma, S., Taira, T. and Ishihara, M. 2003. Gelation mechanism of deacetylated rhaman gum. *Carbohydrate Polymers* 54, 279-285.
- 41) Tako, M. and Hanashiro, I. 1997. Evidence for a conformational transition in curdlan. *Polymer Gels Networks*, 5, 241-250.
- 42) Tako, M. and Kohda, Y. 1997. Ca induced association characteristics of alginate. *J. Applied Glycoscience*, 44: 153-159.
- 43) Tako, M. and Hizukuri, S. 1995. Evidence for conformational transition in amylose. *J. Carbohydrate Chemistry*, 16, 613-622.
- 44) Tamaki, Y., Konishi, T. and Tako, M. 2011. Gelation and retrogradation mechanism of wheat amylose. *Materials*, 4, 1763-1775.
- 45) Tako M. and Hizukuri, S. 1999. Gelatinization mechanism of rice starch. *J. Carbohydrate Chemistry*, 18, 573-584.
- 46) Tako, M. and Hizukuri, S. 2000. Retrogradation mechanisms of rice starch. *Cereal Chemistry*, 77, 473-478.
- 47) Tako, M. 2000. Gelatinization characteristics of rice starch. *J. Applied Glycoscience*, 47: 187-192.
- 48) Tako, M. and Hizukuri, S. 2003. Gelatinization mechanism of potato starch. *Carbohydrate Polymers*, 48, 397-401.
- 49) Tako, M., Tamaki, Y., Konishi, T., Shibamura, K., Hanashiro, I. and Takeda, Y. 2008. Gelatinization and retrogradation characteristics of wheat (Rosella) starch. *Food Research International*, 41, 797-802.
- 50) Tako, M., Tamaki, Y., Teruya, T., Konishi, T., Shibamura, K., Hanashiro, I. And Takeda, Y. 2009. Gelatinization characteristics of Halberd wheat starch. *Starch*, 61:275-281.
- 51) Tako, M. 1996. Molecular origin for thermal stability of waxy rice starch (Kogane). *Starch*, 48:414-418.
- 52) Tako, M. and Hizukuri, S. 1997. Molecular origin for the thermal stability of rice amylopectin. *J. Carbohydrate Chemistry*, 16, 655-666.
- 53) Tako, M. 1998. Rheological characteristics of potato amylopectin. *J. Applied Glycoscience*, 45:379-394.
- 54) Tako, M. and Hizukuri, S. 2000. Molecular origin for thermal stability of Koshihikari rice amylopectin. *Food Research International*. 33:35-40.
- 55) Tako, M. and Hizukuri, S. 2003. Rheological properties of wheat (Halberd) amylopectin. *Starch*, 55: 345-349.
- 56) Tako, M., Shiroma, I. and Uechi, S. 2004. Rheological properties of wheat amylopectin. *Sci. Bull. Fac. Agric. Univ. Ryukyuu*. 51: 139-143.
- 57) Tako, M. and Kiriaki, M. 1990. Rheological properties of welan gum in aqueous media. *Agric. Biol. Chem.*, 54: 3079-3084.
- 58) Tako, M. 1993. Molecular origin for thermal stability of rhaman gum in aqueous media. *Biosci., Biotechnol. Biochem.*, 57: 1182-1184.
- 59) Tako, M. 1993. Molecular origin for the thermal stability of welan and rhaman gum. in *Carbohydrate and Carbohydrate Polymers*, ed. by Yalpani, M. ATL Press, Inc. Science and Publishers. pp. 206-215.
- 60) Tako, M. 1994. Molecular origin for thermal stability of S-657 gum produced by *Xanthomonas* ATCC53159. *Polymer Gels Networks*. 2:358-371.
- 61) Tako, M. and Tamaki, H. 2005. Molecular origin for thermal stability of S-88 gum produced by *Pseudomonas* ATCC31554. *Polymer Journal*, 37:498-505.
- 62) Tako, M. 1996. Molecular origin for thermal stability of schizophyllan. *Polymer Gels Networks*. 4: 303-313.
- 63) Tako, M. 2000. Structural principle of polysaccharide gels. *J. Applied Glycoscience*, 47, 49-53.
- 64) 田幸正邦, 中山義勝, 中村美久, 岸原士郎, 河本正彦.

1984. 限外濾過法による甘蔗汁の石灰清澄の最適条件の検討. 日本農芸化学会誌, 58: 685-690.
- 65) 中村実久, 角満雄, 田幸正邦. 1985. 蔗糖を結合した水飴の製造. 琉球大学農学部学術報告, 31: 43-50.
- 66) 田幸正邦, 高良満, 中村実久. 1985. 甘蔗汁の限外濾過膜透過性, 59: 779-786.
- 67) Tako, M. and Nakamura, S. 1986. Membrane permeability of cane juice on ultrafiltration with some kinds of membranes. *Agric. Biol. Chem.*, 50, 835-839.
- 68) Tako, M., Namamura, S., Kohda, Y. And Nomura, D. 1988). Permeability of cane juice in ultrafiltration membrane of acrylic vinyl co-polymer and cellulose acetate. *Nippon Syokuhin Kogyo Gakkaishi*, 35: 120-125.
- 69) Tako, M. and Brahim, Messaudi. 1993. Demineralization of molasses by electrodialysis. *International Sugar Journal*, 95: 243-247.
- 70) 田幸正邦. 1994. クビレオゴノリから寒天の分離・同定とそのゲル化特性. 応用糖質科学, 41, 305-311.
- 71) Tako, M. Higa, M., Medoruma, K. and Nakasone, Y. 1999. A highly methylated agar from redseaweed, *Gracilaria arcuata*. *Botanica Marina*, 42, 513-517.
- 72) Qi, X.Q., M. Tako and S. Toyama 1997. Chemical characterization of κ -carrageenan of Ibaranori (*Hypnea charoides* LAMOROUX). *J. Applied Glycoscience*, 44, 137-142.
- 73) Qi, Z.Q., Tako, M. and Tohyama, S. 1997. Molecular origin for rheological characteristics of κ -carrageenan isolated from Ibaranori (*Hypnea charoides* LAMOROUX). *J. Applied Glycoscience*, 44, 331-336.
- 74) Tako, T., Qi, ZQ., Yoza, E. and Toyama, S. 1998. Synergistic interaction between κ -carrageenan isolated from *Hypnea charoides* LAMOROUX and galactomannan on its gelation. *Food Research International*, 31, 543-548.
- 75) Lin, L.H., Tako, M. and Hongo, H. 2000. Isolation and characterization of ι -carrageenan from *Eucheuma serra* (Togekirinsai). *J. Applied Glycoscience*, 47, 303-310.
- 76) Lin, L.H., Tako, M. And Hongo, F. 2000. Molecular origin for rheological characteristics of ι -carrageenan isolated from Togekirinsai (*Eucheuma serra*). *Food Science and Technology Research*. 43:493-498.
- 77) 田幸正邦, 上原めぐみ, 川島由次, 知念功, 本郷富士弥 1996. オキナワモズクからフコイダンの分離・同定. 応用糖質科学, 43, 143-148.
- 78) 上原めぐみ, 田幸正邦, 川島由次, 福永隆生, 尚弘子, 知念功, 本郷富士弥. 1996. オキナワモズクから分離したフコイダンが高コレステロール食給与ラットの血清コレステロール濃度に及ぼす影響. 応用糖質科学, 43, 149-153.
- 79) Tako, M., Nakada, T. and Hongo, F. 1999. Chemical characterization of fucoidan from commercially cultured *Nemacystus decipiens* (Itomozuku). *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 53, 1813-1815.
- 80) Tako, M., Yoza, Y. and Tohma, S. 2000. Chemical characterization of acetyl fucoidan and alginate from commercially cultured *Cladosiphon okamuranus*. *Botanica Marina*, 43, 393-398.
- 81) Tako, M. 2003. Rheological characteristics of fucoidan isolated from commercially cultured *Cladosiphon okamuranus*. *Botanica Marina*, 41, 461-465.
- 82) Shiroma, R., Uechi, S., Taira, T., Ishihara, M., Tawata, S. and Tako, M. 2003. Isolation and characterization of fucoidan from *Hizikia fusiformis* (Hijiki). *J. Applied Glycoscience*, 50, 361-365.
- 83) Teruya, T., Konishi, T., Uechi, S., Tamaki, H. and Tako, M. 2007. Anti-proliferative activity of oversulfated fucoidan from commercially cultured *Cladosiphon okamuranus* TOKIDA in U-937 cells. *International J. Biological Macromolecules*, 41, 221-226.
- 84) Shiroma, R., Konishi, T., Uechi, S. and Tako, M. 2008. Structural study of fucoidan from the brown seaweed *Hizikia fusiformis*. *Food Science and Technology Research*. 14: 176-182.
- 85) Teruya, T., Tatemoto, H., Konishi, T. and Tako, M. 2009. Structural characteristics and in vitro macrophage activation of acetyl fucoidan from *Cladosiphon okamuranus*. *Glycoconjugate J.* 26, 1019-1028.
- 86) 田幸正邦. 2009. 多糖類のゲル化機構とフコイダンの利用開発に関する研究. 応用糖質科学, 56:17-27.
- 87) Tako, M., Kiyuna, S. and Hongo, F. 2001. Isolation and characterization of alginic acid from commercially cultured *Nemacystus decipiens*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 63:654-657.
- 88) Shiroma, R., Uechi, S., Tawata, S. and Tako, M. 2007. Isolation and characterization of alginate from *Hizikia fusiformis* and preparation of its oligosaccharides. *J. Applied Glycoscience*, 54, 85-90.

- 89) Teruya, T., Tamaki, Y., Konishi, Y. and Tako, M. 2010. Rheological characteristics of alginate isolated from commercially cultured *Nemacystus decipiens* (Itomozuku). *J. Applied Glycoscience*, 57, 7-12.
- 90) Pakdee, P., Kinjyo, K., Tako, M., Tamaki, Y., Tomita, Y. and Yaga, Y. 1995. Water-soluble polysaccharide from seeds off trees 1. Galactomannan from seeds of *Leucaena leucocephala* de WIT. *Mokuzai Gakkaishi*, 41, 440-443.
- 91) Pakdee, P., Tako, M., Yokohari, T., Kinjyo, K., Hongo, F. and Yaga, Y. 1995. Synergistic interaction between xanthan and galactomannan isolated from *Leucaena leucocephala* de WIT. *Ohyo Toshitsu Kagaku*, 42, 105-113.
- 92) Tamaki, Y., Teruya, T. and Tako, M. 2010. Chemical structure of galactomannan isolated from *Delonix regia*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 74, 1110-1112.
- 93) Tamaki, Y., Uechi, S., Taira, T., Ishihara, M., Adaniya, S., Uesato, K., Fukuta M. and Tako, M. 2004. Isolation and characterization of pectin from pericarp of *Citrus depressa*. *J. Applied Glycoscience*, 51, 19-25.
- 94) Tamaki, Y., Konishi, T., Fukuta, M. and Tako, M. 2008. Isolation and structural characterization of pectin from endocarp of *Citrus depressa*. *Food Chemistry*, 107, 352-364.
- 95) 中村昌宏, 山城陽一, 小西照子, 花城勲, 田幸正邦. 2011. 養殖ヒトエグサから分離したラムナン硫酸の構造特性. 日本食品科学工学会誌, 58:245-251.
- 96) 田幸正邦. 2002. 養殖オキナワモスクを原料とするアセチルフコイダンおよびその製造法. 特許 3,371,124.
- 97) 琉球大学, 田幸正邦, 渡慶次南. 2011. オキナワモスク由来のヒアルロニダーゼ阻害剤又はアトピー性皮膚炎治療剤. 特許 4,734,648.
- 98) Teruya, T., Takeda, S., Tamaki, Y. and Tako, M. 2010. Fucoidan isolated from *Laminaria angustata* var. *longissima* induced macrophage activation. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 74, 1960-1962.
- 99) 田幸正邦, 武田真治, 照屋武志, 玉城志博: ナガコンブ (*Laminaria angustata* var. *longissima*) から分離したフコイダンの化学特性. 日本食品科学工学会誌, 57, 495-502 (2010).
- 100) Yamada, M., Yoshida, F., Ando, H. Ishida, H. Kiso, M. and Tako, M. 2011. Synthesis of 6-deoxy-D-altrose used as an authentic sample to identify an unknown monosaccharide isolated from the fruiting body of an edible mushroom. *Heterocycles*, 82: 1699-1704.
- 101) Tako, M., Dobashi, Y., Tamaki, Y., Konishi, T., Yamada, M., Ishida, H. and Kiso, M. 2012. Identification of 6-deoxy-D-altrose from an edible mushroom (*Lactarius lividatus*). *Carbohydrate Research*, in press.
- 102) 田幸正邦. 2003. ジャズの起源はベートーヴェンにある. 東京図書出版会, pp.69-98.
- 103) 田幸正邦. 2005. 愛と音楽の人生—ベートーヴェン. 東京図書出版会, pp. 67-70.
- 104) 田幸正邦. 2008. ベートーヴェンの音楽の神髄—全交響曲. 東京図書出版会, pp. 69-99.
- 105) 岡村定矩, 池内了, 海部宣男, 佐藤勝彦, 永原裕子. 2010. 人類の住む宇宙. 現代の天文学第1巻. 日本評論社, pp.49-75.
- 106) 佐藤勝彦. 2005. 宇宙の誕生と未来—ビッグバン. クバプロ, pp. 16-26.
- 107) アレクサンドル・オパーリン. 1973. 生命の起源. 東大ソヴィエト医学研究会訳, 岩崎学術出版社, pp. 24-74.
- 108) 八杉竜一. 1971. ダーウインの生涯. 岩波新書, pp.176-223.