

第 6 回合同班会議 報告

水谷 泰久 (阪大院理・総括班)

特定領域研究「高次系分子科学」の第6回合同班会議が、平成23年12月8日(木)～10日(土)沖縄残波岬ロイヤルホテル(沖縄県中頭郡読谷村)で開催された。本会議は、平成19年にスタートした特定領域研究「高次系分子科学」が本年度で最終年度となることから、班員が合宿形式で十分な時間討論を行うことにより、領域の更なる発展方向を探ることを目指して開催されたものである。88名の参加者があり、15件の口頭発表、72件のポスター発表が行われた。研究分担者、班友や若手研究者による口頭発表を取り入れた点がこれまでの行事とは異なる点で、今回の合同班会議の特色であった。

初日は、藤井正明領域代表(東工大)による開会の挨拶の後、A01班から4件の発表が行なわれた。藤井正明氏、大橋氏(九州大、関谷グループ研究分担者)、鳥居肇氏(静岡大)、井口佳哉氏(広島大、江幡グループ研究分担者)はそれぞれ、ピコ秒時間分解赤外分光によるアセトニトリル-水クラスターにおける水分子の分子内移動反応についての研究成果、赤外分光による溶媒和金属イオンクラスターの構造異性体についての研究成果、振動バンドの強度と形状に関する理解のための解析法理論についての研究成果、クラウンエーテルの金属イオン包接錯体のコンフォーマー数と幾何構造の決定についての研究成果を発表した。その後休憩をはさんで、ポスター発表のショートプレゼンテーションが行われた。簡にして要を得たプレゼンテーションが目立った。夕食後、ポスターセッションが開かれ、夜遅くまでポスターを前に熱い討論が続いた。

二日目の午前中はA02班から3件、A03班から1件の発表が行なわれた。山口祥一氏(理研、田原グループ研究分担者)による液体界面にある分子の選択的観測に関する成果発表が行われたのち、山方啓氏(豊田工大)が電極界面近傍の疎水性カチオンとその疎水性水和核の構造変化を解明した研究成果を、矢野陽子氏(近畿大学)がX線反射率法による水溶液表面でのタンパク質のフォールディング状態に関する研究成果を、また小倉尚志氏(兵庫県立大)がチトクロム酸化酵素のリガンド脱離後のダイナミクスに関する研究成果を発表した。

昼食時には3つの班に分かれての班会議が開かれ、午後の時間には自由討論が行われた。夕方のセッション

では、班友である八木清氏(イリノイ大)が非調和振動理論の新展開について講演し、続いて森田明弘氏(東北大、田原グループ連携研究者)が水-空気界面の振動SFGスペクトルの理論シミュレーションによる研究結果を発表した。また、中島聡氏(兵庫県立大、小倉グループ研究分担者)は、高感度時間分解赤外吸収分光装置の装置開発と性能について紹介した。夕食後にはポスターセッションが開かれ、初日と同様に活発な討論が行われた。

最終日はA02班から1件、A03班から3件の発表が行なわれた。木村健次郎氏(神戸大、大西グループ研究分担者)は、固-液界面近傍の液体構造および固体内部の磁場分布という二つの対象に対してと手法が異なる二つの方法について講演した。続いて、水野操氏(阪大、水谷グループ研究分担者)は、ピコ秒時間分解紫外共鳴ラマン分光法の装置開発とそれを用いたタンパク質ダイナミクスの研究成果について発表した。佐藤啓文氏(京大)は、cis-プラチンの加水分解反応と炭酸脱水素酵素の水素結合ネットワークに関する研究成果について、松下道雄氏(東工大院理工、研究代表者)は、光センサーとして働くフラビントタンパク質の単一分子分光の研究成果について発表した。4件の講演の後、評価委員の先生方から講評をいただいた。最後に、藤井領域代表が今後の成果とりまとめの行事に関して説明をし、また参加者に感謝の言葉を述べて会議を締めくくった。

会場は夕陽の美しいことで知られる残波岬に位置し、少し歩けば沖縄の青い海を臨む静かな砂浜が広がっている。あいにく3日間曇天ではあったが、暖かな気温の中、リラックスした雰囲気で行われた。本特定領域がスタートしてからこの4年余りに、多くの研究成果が積み上げられてきたことを実感できた充実した3日間であった。



業績紹介：化学修飾によるヌクレオシドのグリコシド結合コンフォメーション制御

三枝洋之（横浜市立大・
生命ナノシステム科学研究科・公募研究代表者）

論文題目：" Controlling Glycosyl Bond
Conformation of Guanine Nucleosides:
Stabilization of the anti Conformer in
5'-O-Ethylguanosine"

著者：H. Asami, S. Urashima, M. Tsukamoto, A.
Motoda, Y. Hayakawa, and H. Saigusa 雑誌巻
号：J. Phys. Chem. Lett., 3, 571-575 (2012).

DNA や RNA の立体構造の柔軟性は、その構成単位であるヌクレオチドのコンフォメーションにより制約される。これらのコンフォメーションには、糖-リン酸基骨格の6個の二面角とグリコシド結合まわりの塩基の二面角 χ (図1)がある[1]。このうちグリコシド結合については、syn ($\chi=0\pm 90^\circ$) と anti ($180\pm 90^\circ$) という2つの安定なコンフォーマーが存在し、通常のDNAでは anti、Z-DNA では syn 構造をとる。

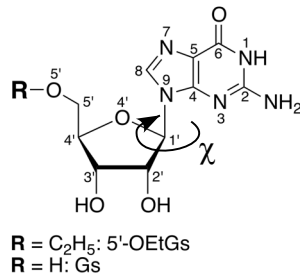


図 1. グアニンヌクレオシドの構造とグリコシド結合二面角 χ (O4'-C1'-N9-C4).

本研究では、このコンフォメーション選択性を、気相孤立化したグアニンヌクレオシド (図 1) を用いて検討した。ヌクレオシドの非破壊的気化にはレーザー脱離法、コンフォメーション解析には赤外振動分光法 (赤外-紫外 2 重共鳴法) を用いた。

図 2 に Guanosine (Gs) と 5'-OH 基をエチル化した 5'-O-Ethylguanosine (5'-OEtGs) の赤外振動スペクトルを比較した。Gs のスペクトル(a)には、3249 cm⁻¹ にブロードなピークが強く観測され、これは 5'-OH 基がグアニン塩基の N3 サイトに内部水素結合した syn 構造[図 3(a)]であると帰属される。そこで、5'-OH 基をエチル化し、この内部水素結合をブロックしたところ、2'-OH 伸縮振動のピークが 3386 cm⁻¹ に観測された。このことから 5'-OEtGs では、2'-OH 基が N3 に水素結合した anti 構造[図 3(b)]をとることが分かった。それぞれの構造は、Gs と 5'-OEtGs の最安定構造であり、グリコシド結合の二面角 χ は、57° と 171° である。

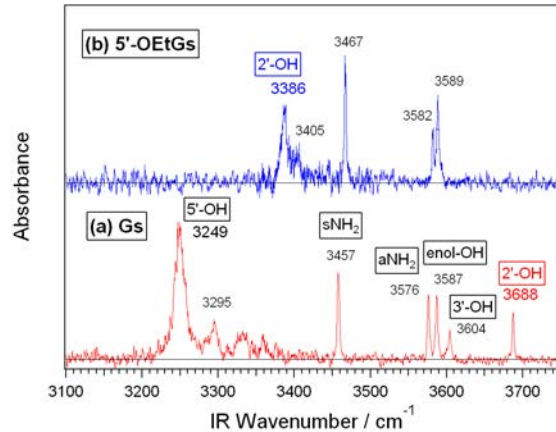


図 2. (a) Gs と (b) 5'-OEtGs の赤外振動スペクトル。

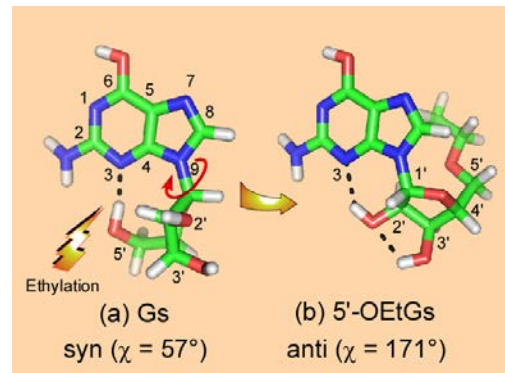


図 3. (a) Gs の syn 構造と (b) 5'-OEtGs の anti 構造。いずれもエノール体のみが観測された。

本研究の結果が、DNA の立体構造変化と直接関連するわけではないが、比較的マイナーな化学修飾を施すことでコンフォメーションを制御できたことは重要である。またこのような化学修飾をすると、生体の機能が失われるとの批判を受けるが、核酸化学の分野では、化学修飾により分子認識機能などを制御することが幅広く行われている。その多くはコンフォメーションが変化することで説明されているが、化学修飾とコンフォメーションの関連を分子論的に検討した例は殆どなく、今後このような分野を積極的に開拓したいと考える。

なお本研究で用いた 5'-OEtGs は、塚本眞幸博士、元田彩香氏 (名古屋大学)、早川芳弘教授 (愛知工業大学) により新規合成されたものである。

[1] Saenger, W. *Principles of Nucleic Acid Structure*; Springer-Verlag: New York, 1984.

業績紹介：酸素の脱離に伴うヘモグロビンの構造ダイナミクス

水谷泰久 (阪大院理・計画研究代表者)

論文題目: "Differences between Protein Dynamics of Hemoglobin upon Dissociation of Oxygen and Carbon Monoxide"

著者: Yuka Murakawa, Masako Nagai and Yasuhisa Mizutani,

雑誌巻号: *J. Am. Chem. Soc.* **134**, 1434-1437 (2012).

ヘモグロビン(HbA)のリガンドの脱着に伴う構造ダイナミクスの研究では、測定上の困難さゆえに、これまで、生理的リガンドである酸素(O₂)の代わりに一酸化炭素(CO)が用いられてきた。しかし、CO を用いて調べられたダイナミクスが、果たして生理的に重要なものであるかどうか疑問が残る。そこで、本研究では、HbA の本来のダイナミクスを知るため、O₂脱離に伴う HbA の時間分解共鳴ラマンスペクトルを測定し、CO 脱離の場合と比較した。

時間分解共鳴ラマンスペクトルにおいて、鉄-ヒスチジン伸縮振動[$\nu(\text{Fe-His})$]バンドとメチン基のたてゆれ振動(γ_7)バンドの振動数、鉄-ピロール伸縮振動(ν_8)バンドの強度について、O₂脱離とCO脱離とで違いがみられ、O₂脱離の方がCO脱離よりもデオキシ形への緩和が速かった。また、ナノ秒以降の時間領域でも、この特徴が見られた。図1に $\nu(\text{Fe-His})$ バンド、 γ_7 バンドの振動数を遅延時間に対してプロットしたものを示す。 $\nu(\text{Fe-His})$ バンド、 γ_7 バンド共にCO脱離に比べ、O₂脱離の方が変化が速いことがわかる。 $\nu(\text{Fe-His})$ バンド、 γ_7 バンドの振動数変化については、サブナノ秒からマイクロ秒の時間領域において違いが見られたのに対し、 ν_8 バンドの強度変化については、100 ns 以降、O₂脱離とCO脱離の間に見られる差は小さくなった。このことから、 ν_8 バンドの強度変化は、 $\nu(\text{Fe-His})$ バンド、 γ_7 バンドの振動数シフトとは異なる要因から生じていると考えられる。以上のように、生理的リガンドであるO₂と非生理的リガンドであるCOとでは、脱離後のHbAのダイナミクスが異なることが見出された。一方で、ヘモグロビンサブユニットと構造が似るミオグロビンにおいては、いずれのリガンドの場合も、1000 ps の時間分解スペクトルとデオキシ形のスペクトルがほぼ一致し、HbAで見られたようなリガンド依存性は見られなかった。つまり、ミオグロビンでは数ピコ秒でヘムの構造がデオキシ形の構造まで緩和しているのに対し、HbAではナノ秒以降に、リガンド依存性を示す遅い緩和の相が存在する。ナノ秒以降の遅い相は、単離鎖の試料においても見られ、HbAのサブユニットのもつ固有の特徴であると考えられる。HbA特有に見られるナノ秒以降の遅い緩和が、O₂脱離と

CO脱離とで異なる緩和速度を持つという点は、非常に興味深い。

リガンドによってダイナミクスが異なることが、どのような構造上の違いに由来するのだろうか。O₂形は、ヘムに結合したO₂が、Eヘリックスにある遠位ヒスチジン残基と水素結合を形成している一方、CO形はこの水素結合は非常に弱い。したがって、この水素結合によるEヘリックスへの影響の違いが、ヘムの構造緩和速度の違いに影響しているのではないかと考えられる。CO脱離後ナノ秒の時間領域では、ヘムの構造変化によってE-Fコーナーを中心に、E-Fヘリックスの回転が誘起され、その際、A-Eヘリックス間の水素結合が切断されることが報告されている。この時間領域は、ヘムの構造緩和において、リガンドによる違いが生じる時間領域に一致することから、Eヘリックスの動きとヘムの構造緩和は連動している可能性が高い。リガンド-Eヘリックス間の相互作用の違いが、リガンド結合形におけるEヘリックスの状態の違いを生み、リガンド脱離後のヘリックスの動きに速度の差を生んでいると考えると、本研究の結果をうまく説明できる。

本研究では、リガンド脱離後のヘムの構造変化が、O₂とCOとは異なった速度で起きることを明らかにした。今回得られた結果は、これまでCOを用いた研究から得られたHbAの構造ダイナミクスの描像に、再検討を迫るものである。

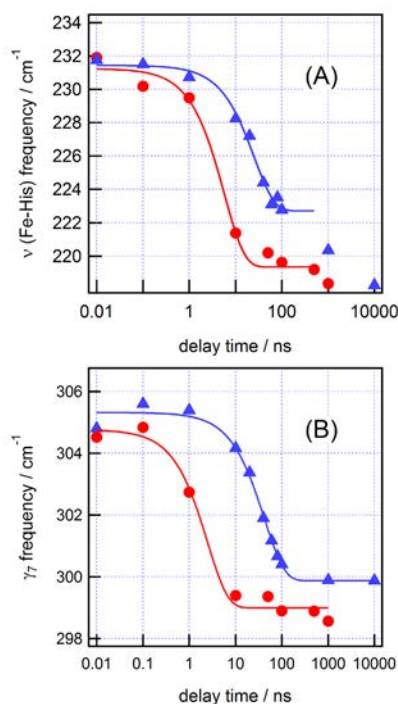


図1. 各バンドの振動数変化 $\nu(\text{Fe-His})$ バンド (A)、 γ_7 バンド (B) (実線は指数関数でフィットしたもの)

業績紹介：ヘモグロビン単離鎖の構造ダイナミクス： α 鎖、 β 鎖および四量体との違い

石川春人 (阪大院理・計画研究分担者)

水谷泰久 (阪大院理・計画研究代表者)

論文題目: "Protein Dynamics of Isolated Chains of Recombinant Human Hemoglobin Elucidated by Time-resolved Resonance Raman Spectroscopy"

著者: Kenta Yamada, Haruto Ishikawa, and Yasuhisa Mizutani

雑誌巻号: *J. Phys. Chem. B* **116**, 1992–1998 (2012).

ヘモグロビン(Hb)は、 α 鎖と β 鎖の2種類のサブユニットが2つずつ会合した四量体で、協同的な酸素親和性を示す。一方、これを α 鎖と β 鎖に分離した単離鎖ではHb特有の協同性が見られない。このため、Hbと単離鎖での構造変化の違いを解明することは協同性発現機構を考える上で重要である。また、2種の単離鎖の性質の違いを解明することはHbが2種類のサブユニットから構成されている意味を考える上で重要である。本研究では、CO脱離に伴う単離鎖のナノ秒からマイクロ秒領域における時間分解共鳴ラマンスペクトルを測定し、 α 鎖、 β 鎖およびHbとの比較をした。

α 鎖、 β 鎖ともに、鉄-ヒスチジン伸縮振動[$\nu(\text{Fe-His})$]バンドの低波数シフト、 γ_7 バンドの低波数シフトおよび ν_8 バンドの強度増大が見られた。図1は、 $\nu(\text{Fe-His})$ バンドの振動数、 γ_7 バンドの振動数および ν_7 に対する ν_8 バンドの相対強度を遅延時間に対してプロットしたものである。 $\nu(\text{Fe-His})$ バンドの低波数シフトは、2つの指数関数の和 $[A+B\exp(-t/\tau_1)+C\exp(-t/\tau_2)]$ でうまく表すことができ、その時定数は、 α 鎖が33 ns, 2.12 μs で、 β 鎖が146 ns, 2.19 μs であった。また、 γ_7 バンドの低波数シフトおよび ν_7 に対する ν_8 バンドの相対強度増大は、単一の指数関数 $[A+B\exp(-t/\tau_1)]$ でうまく表すことができ、その時定数は、 γ_7 バンドについて50 ns(α 鎖)、210 ns(β 鎖)、 ν_8 バンドについて197 ns(α 鎖)、458 ns(β 鎖)であった。いずれのバンドについても、 β 鎖は α 鎖に比べてスペクトル変化が遅かった。

Fe-His結合は、ヘムとポリペプチド鎖をつなぐ唯一の共有結合であり、 $\nu(\text{Fe-His})$ バンドは、ヘムタンパク質において、ヘム近位側構造を鋭敏に反映することが知られている。本研究では、 α 鎖、 β 鎖ともに、2段階からなる低波数シフトが見られた。これは、CO脱離に伴い単離鎖は中間体を経てヘム近位側の構造が変化することを示唆している。 α 鎖の方が β 鎖より速く低波数シフトしたことから、 α 鎖の方がより速く中間体構造へ変化し、より速くヘム近位側の構造変化が完了すると考えられる。 γ_7 バンドはヘム平面のゆがみを反映すると考えられている。過渡種の γ_7 バンドはデオキシ形より高波数側に現れて、 α 鎖の方が β 鎖より速く低波

数シフトした。したがって、 α 鎖の方がCO脱離に伴うゆがみの増加が速いことが考えられる。 ν_8 バンドの強度増大の時定数は、上記の2つのバンドの時定数に比べて2倍以上大きな値であることから、異なる構造変化を反映していると考えられる。しかし、 α 鎖の方が構造変化は速いという点では共通している。

ヘム面に対して、ヘムに結合したヒスチジン残基の周辺を近位側、その反対側を遠位側と呼ぶ。各サブユニットで、ヘムは2本の α ヘリックスにはさまれて存在し、1本は近位側のFヘリックスであり、もう1本は遠位側のEヘリックスである。デオキシ形-CO形間のEヘリックスの変位は、 α 鎖よりも β 鎖の方が大きいことが知られている。COが脱離すると、ヘムの構造変化によってE-Fヘリックスの変位が引き起こされることから、CO脱離に伴って、動きの大きい β 鎖のEヘリックスの変位が完了するのに時間がかかり、それがスペクトル変化の速度の差に現れたと考えられる。

【謝辞】本研究で用いたプラスミドはJ. S. Olson教授(Rice University)からご提供して頂き、rHbの培養方法はE. Singleton氏(Rice University)からご教授して頂いた。

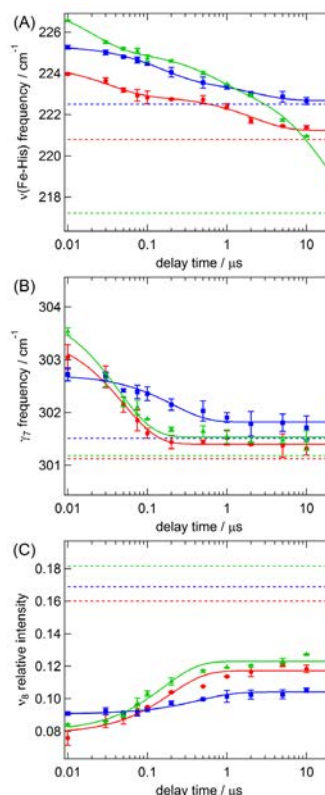


図1. 単離鎖の $\nu(\text{Fe-His})$ バンドの波数シフト(上)、 γ_7 バンドの波数シフト(中)、 ν_7 に対する ν_8 バンドの相対強度変化(下)。実線は指数関数でフィッティングしたもの、破線は対応するデオキシ形の値を示す。

第 14 回 ミニ公開シンポジウム 開催報告

橋本健朗（首都大学東京・A01 班 計画分担）

第 14 回ミニ公開シンポジウムが平成 24 年 1 月 16 日（月）－17 日（火）、北海道大学低温科学研究所にて行われました。「高次系分子科学と低温科学の接点」との主題で、低温科学研究所共同利用研究集会との共催です。本特定研究では、分子高次系、複合高次系、生体高次系の各班が、新規計測法を開発し現実系・複雑系へ分子科学を転回することを目指し、協力連携しながら研究を推進してきました。一方、低温科学研究所では、宇宙物質科学、寒冷圏非平衡科学、大気環境、相転移ダイナミクス、生物適応をはじめとして、分子論的理解が重要でかつ高次系分子科学の研究者にも興味ある課題に取り組んでいるグループが多数あります。本シンポジウムは、高次系分子科学と低温科学研究所の研究者の交流を促進させ、高次系の成果を生かした新規課題の開拓、分子科学を基盤とする低温科学への新しいアプローチ等に関する議論を通じて、共同研究の萌芽を生み出すこと、研究者ネットワークの構築へ繋げることを目指した企画でした。また高次系外、所外からも関連分野の方々に講演をお願いしました。

16 日午後は橋本、古川義純先生（低温研所長）の挨拶の後、まず首都大・藤野竜也先生が「非解離レーザーイオン化法における脱離・イオン化過程の観測と機構研究」と題して、本特定での MALDI の研究成果を発表されました。引き続き、広島大・石坂昌司先生「過冷却微小水滴のレーザー捕捉・顕微分光」、北大・佐崎元先生「高分解光学系による水－氷界面のその場観察：不凍タンパク質の機構解明を目指して」、島津製作所・大田昌弘先生「大気中・液中で動作する原子分解能原子間力顕微鏡の開発」、北大・長嶋剣先生「液中超高分解能原子間力顕微鏡を用いた可溶性結晶の原子・分子分解能観察」、東北大博士課程・荒木優希さん「合成ポリペプチド添加による水和構造変化のその場観察」の発表があり、固液界面、凝縮、相転移に関する観察手法の開発や応用について議論しました。

17 日午前の前半は、首都大・城丸春夫先生「超高真空リングを周回する高温分子イオンの輻射冷却の観察」、神戸大・富宅喜代一先生「気相イオンの極低温冷却と分光」とそれぞれ独自に開発されている手法による研究成果を発表され、気相分子、クラスターの冷却

や揺らぎの効果について議論しました。また後半は、産総研・灘浩樹先生「分子動力学法による結晶表面での相互作用の評価」、北大・川野潤先生「気相成長する GaAsN 表面過程の第一原理計算による考察」の表面のシミュレーション研究の発表に引き続き、当該分野の現状と課題について議論しました。

17 日午後の前半は、首都大博士課程・浜津順平さん「In-cell NMR による細胞構造生物学」、東工大・酒井誠先生「2 波長レーザー分光法を利用した赤外超解像顕微鏡の開発」と生命科学関連の話題を、後半は理研・山口祥一先生「ヘテロダイナミクス検出と周波発生液体界面への応用」、東北大・塚本勝男先生「超高速位相シフト干渉計の開発に向けて」と界面科学、結晶成長関連の話題を提供していただきましたが、応用の面白さだけでなく、測定法の原理にまで突っ込んだ議論がされました。最後に橋本がまとめを行い終了しました。

高次系や低温研関係者だけでなくそれ以外からご参加いただいた方々にも、刺激的で有意義な研究会であったと好評で、また 16 日夜の研究交流会も研究者ネットワークづくりに役立ちました。本研究会が本格的な共同研究の萌芽となり、また高次系分子科学が研究期間終了後もますます発展すること願っていますが、幸いにもそれに低温研究所も好意的、協力的です。

二名の博士課程の学生さんに発表をお願いしましたが、この研究会をきっかけに大学院生が世話役となった「表面科学と結晶成長」が来年度企画されることとなりました。高次系の展開として嬉しいことです。今後も皆様のご協力をお願い申し上げます。



第 15 回ミニ公開シンポジウム 開催報告

水谷泰久 (阪大院理・総括班)

第 15 回ミニ公開シンポジウム「イオンチャネル研究の現状とこれからについて考える」が、平成 24 年 1 月 23 日 (月)、24 日 (火) に、大阪大学会館 (豊中キャンパス) で開催された。

イオンチャネルは、構造変化によって機能を発現するという面白さ、膜の中で働くという面白さから多くの研究者が興味をもち、福井大の清水啓史氏を中心に、本研究領域の中で班の垣根を越えた共同研究のネットワークが広がっている。このイオンチャネルに関するミニシンポジウムは、共同研究を促進する交流の場として平成 20 年に福井で開催されて以降、21 年にふたたび福井で、22 年には広島で開催され、今回で 4 回目を迎えた。毎回、異なる研究手法を得意とする研究者が集い、イオンチャネル研究に関する成果報告や今後の研究展開についての議論が行われている。

シンポジウムでは、最初に、シンポジウム世話人の水谷が趣旨について説明した。続いて、老木成稔氏 (福井大医) が代表的なイオンチャネルである **KcsA** の研究に関してオーバービューを行ったのち、離散的マルコフモデルを用いたご自身の研究成果を紹介された。イオン透過機構および選択性機構の理解にはメソスコピックな時空間領域の情報が重要であり、そのアプローチとしてモデルの有効性が示された。つづいて、炭竈享司氏 (福井大医) は分子動力学法によってチャネル内のイオン透過の様子をシミュレートした結果について発表した。計算の結果、透過の律速段階はこれまで考えられていた選択性フィルターへの侵入ではなく、中心キャビティーへの侵入であるという新しいモデルが提案された。古谷祐詞氏 (分子研) は、全反射赤外分光法によってイオン結合に伴う **KcsA** のイオン選択フィルターの構造変化を調べた成果を報告した。**KcsA** へのカリウムイオンの結合によってアミド I バンドのスペクトル変化が観測され、変異体を用いた比較実験からこの変化はフィルター選択部位の構造変化に帰属された。この結果をもとにイオン選択機構について議論がなされた。福田哲也氏 (名工大院工) は、全反射赤外分光法による観測結果をもとにして、ゲートの開閉に伴う **KcsA** の構造変化を議論した。角野歩氏 (名工大院工) は、AFM を用いてゲートの開閉に伴うタンパク質の構造変化を観測した成果について述べた。

ゲートの開閉を引き起こすと考えられる pH の変化に伴い、**KcsA** の膜からの飛び出し高さの変化が観測された。また、pH に依存して膜中で **KcsA** 分子が集合・分散を起こすことが見出された。山本大輔氏 (福岡大理) は、高速 AFM を用いたタンパク質一分子の構造変化観測について最新の研究成果を紹介した。

シンポジウム二日目では、山方啓氏 (豊田工大) は表面増強赤外吸収分光法を用いて外部電位に依存した **KcsA** の構造変化を調べた結果を報告した。電位の変化に伴うスペクトル変化には、カリウムイオン共存下でのみ観測されるものがあり、**KcsA** のイオン選択性との関係が興味深いものであった。つづいて、水谷は紫外共鳴ラマン分光法を利用してイオン選択フィルターの構造変化をとらえた成果を発表した。カリウムイオン濃度に依存して、チロシンおよびトリプトファン残基のバンドに変化が観測され、このうちチロシンのスペクトル変化は変異体を用いた比較実験からイオン選択フィルターに存在する **Tyr78** と同定された。楯真一氏 (広島大院理) は分子形態変化を観測する独自の手法によって **KcsA** の構造変化をとらえる試みを紹介した。この手法では媒質による適切な強度の束縛によってタンパク質分子を配向させる必要があり、この達成に向けての現状報告がなされた。また、適切な界面活性剤を選択することでスペクトルの質がかなり向上することも報告された。清水氏は X 線 1 分子計測法を用いた **KcsA** の開閉構造変化観測について、最近の進展を述べた。観測の時間分解能を高めたことによって分子の動きがより詳細にとらえられるようになり、ここの技術を利用して pH ジャンプに伴う閉状態から開状態への構造変化が検出された。

参加者の研究発表ののち総合討論を行い、イオンチャネル研究について今後重要となる問題やこれからの共同研究のあり方などについて議論した。

