

菅原洋子 Yoko Sugawara

## 経歴

### 学歴

- 1971年4月～1973年3月 東京大学理科 II 類  
1973年4月～1975年3月 東京大学理学部 化学科  
1975年4月～1977年3月 東京大学大学院 理学系研究科 化学専攻 修士課程  
1977年4月～1980年3月 東京大学大学院 薬学系研究科 製薬化学専攻 博士課程 (薬学博士)

### 職歴

- 1982年4月～1992年2月 理化学研究所 結晶物理研究室 研究員  
1992年3月～1993年7月 理化学研究所 結晶学研究室 前任研究員  
1983年7月～1994年3月 理化学研究所 結晶学研究室 副主任研究員  
1994年4月～2018年3月 北里大学 理学部 物理学科 教授  
2018年4月 北里大学名誉教授  
2019年4月～ 公益財団法人 豊田理化学研究所 客員フェロー

### 社会活動等

- 2011年10月～2017年9月 日本学術会議連携会員  
2017年10月～ 日本学術会議 第3部 会員  
2018年4月～ 日本結晶学会会長

## これまでの研究成果

菅原洋子

生物物理化学分野において、振動分光學と結晶学を手段とした研究を展開してきました。また、2011年からは、ミュオンスピン回転・緩和・共鳴法 ( $\mu\text{SR}$ ) の生命科学への展開を目指した研究を進めています。

### 1. アミド化合物の前期共鳴ラマン効果および *ab initio* 分子軌道法計算を用いたアミド化合物の分子内力場の解析 (1975年~1982年)

生物物理化学の分野での研究を、紫外レーザーを用いたアミド化合物の前期共鳴ラマン効果の解析からスタートしました。アミド結合の紫外吸収帯に近い波長の紫外レーザーを用いることにより、アミド結合部の分子内振動に特異的に強度増大が起こることを明らかにし、複雑な生体物質のラマン測定において、共鳴ラマン効果により、アミド結合部の振動を特異的に観測できる可能性を示しました (Fig. 1)。当時は、ラマン分光法で利用できるレーザー波長の関係で前期共鳴ラマン効果の測定に留まりましたが、多種の紫外レーザーの利用が可能となった現在は、真正共鳴ラマンスペクトルの測定も可能となっています。

また、*ab initio* 分子軌道法計算によるアミド化合物の分子内力場の検討を行い、経験的な手法からでは一義的に決めることが難しい相互作用項の決定にこの手法が有効なことを示すことが出来ました。分子軌道法による分子内力場の計算は、今日では、市販ソフトに取り入れられ、広く普及しています。

### 2. ヌクレオチド水和物結晶の相転移の解析 (1982年~現在)

1982年からは、理化学研究所において、結晶学分野での研究を開始しました。核酸の構成単位であるヌクレオシドやヌクレオチドなどの水和物結晶において、温度や水蒸気圧に依存し、単結晶性を保持した擬似多形間の転移が誘起されることを見出しました。単結晶性が保持されることは、単結晶構造解析により、高い精度で、転移に伴う水和構造と、分子構造および分子集合体構造の変化との相関を追うことが可能であることを意味します。1994年に北里大学理学部に移動後も、引き続き本テーマと取り組んできました。

結晶からの結晶溶媒の離脱は、一般には結晶性の低下を引き起します。しかし、生体分子の水和物結晶は構造柔軟性を有し、結晶水の増減と相関して、分子のコンフォメーション変化、分子積層構造のスライド、水素結合網の切り替えなどが誘起され、単結晶性を保持した可逆的転移が進行していることが示されました (Fig. 2)。

結晶水数が増えることは、単位格子体積の10%前

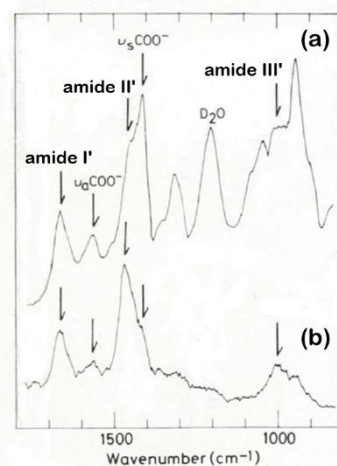


Fig. 1 Raman spectra of poly(L-glutamic acid) in  $\text{D}_2\text{O}$  excited by the 488.0 (a) and 257.3 (b) nm laser lines.

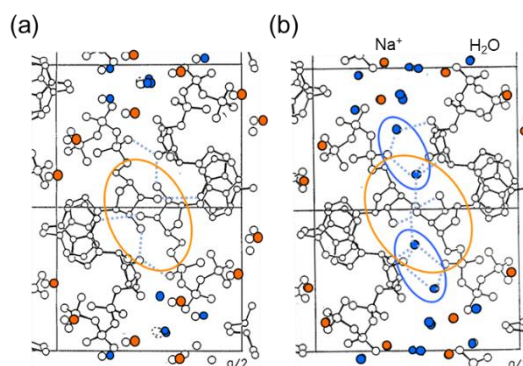


Fig. 2 Humidity induced phase transition of disodium adenosine 5'-triphosphate. Crystal structures of the dehydrate (a) and the trihydrate (b) Blue circle, water molecules lost in the dihydrate; orange circle, moiety where conformational changes were induced.

後の増減を伴うことから、転移のエネルギー障壁が高く、これに起因して、顕著なヒステリシスが観測されます。この結果、準安定構造出現の頻度がたか高く、結晶水の脱離過程と吸着過程では異なる中間体を經由する系（“サイクリック型転移”）や、温度条件に依存して異なる結晶構造へ転移する系（“分岐型転移”）など、物性的に興味深い転移が存在することも明らかになりました（Fig. 3）。また、CCD 検出器の利用と単結晶構造解析用水蒸気圧制御システムの開発により、転移過程での逆格子の時間変化を追うことが可能になり、高水和物結晶が低水和物へ転移していく過程で中間構造として出現する倍周期構造を捕え、その解析から、水の抜けていく機構を明らかにすることが出来ました。これらの研究においては、ラマン分光法

（占部久子氏（東京家政学院大学）との共同研究）、分子動力学計算（米田茂隆氏（北里大学）との共同研究）、固体 NMR（斎藤肇氏（国立がんセンター研究所（当時））との共同研究）などの多彩な手法を併用し、相転移機構を明らかにすることに留意してきました。

同様の結晶内の水の増減と相関し、かつ、単結晶性を保持した構造転移は、キシロースイソメラーゼやタウマチンなど一部のタンパク質結晶でも見出されています。これらについても、実験、理論計算両面から相互解析を進め、タンパク質結晶における結晶溶媒の役割を明らかにしてきました。

### 3. ミュオン科学の生命系への展開（2011年～現在）

新学術領域研究「超低速ミュオン顕微鏡が拓く物質・生命・素粒子科学のフロンティア」の発足に伴い、ミュオン科学の生命系への展開を目指した研究に参加する機会を得て、以来、ミュオン科学の生命系への展開をめざした研究を進めています。5年間の新学術領域研究の過程で $\mu$ SR（ミュオンスピン共鳴・回転・緩和法）の生命科学分野での活用を確立する上で解決すべき課題が明確化され、これを豊田理化学研究所客員フェローとしての研究課題としています。

ミュオンは正または負の電荷とスピンをもつ素粒子です。 $\mu$ SR 実験では、偏極したミュオンビームを

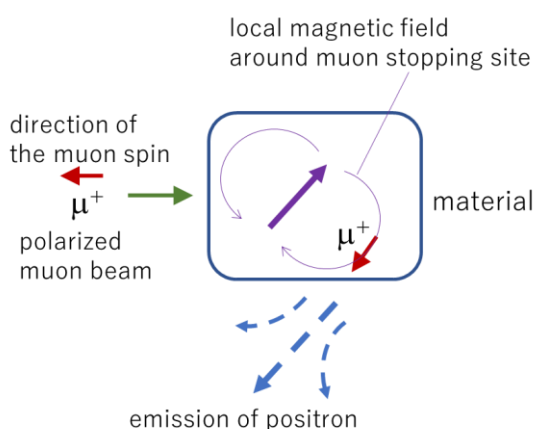


Fig. 4 Schematic diagram of the  $\mu$ SR experiment

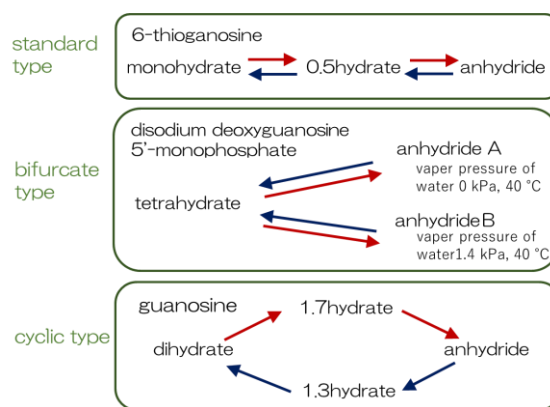


Fig. 3 Three types of phase transitions of nucleoside/nucleotide hydrates  
Red and blue arrows indicate desorption and absorption process, respectively.

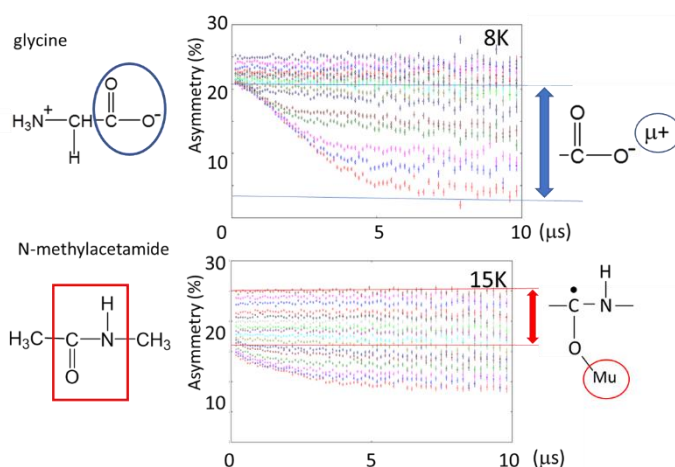


Fig. 5  $\mu$ SR spectra of glycine (a) and N-methylacetamide (b)  
Muon ( $\mu^+$ ) and muonium (Mu) radical are the main components, respectively.

物質に照射し、崩壊により放出される電子/陽電子の方向を測ることにより、ミュオンのスピン偏極の変化を知ることが出来ます。従って、物質の内部磁場をモニター出来ることから磁性体や超伝導体の研究に活用されています (Fig. 4)。また、正の電荷をもつミュオン ( $\mu^+$ ) は、物質内で電子を獲得してミュオニウム (Mu) と呼ばれる水素原子様の状態となり、不飽和結合位に付加反応することによりラジカルを形成することからラジカル化学の研究に活用されています。

生命科学分野では、永嶺らが、ミトコンドリアの呼吸鎖の一員で、タンパク質複合体間の電子移動を司るシトクロム *c* という比較的小さいタンパク質に注目して  $\mu$ SR 測定を行い、タンパク質内の電子移動とカップルしたミュオン偏極の緩和を観測しました。新学術領域研究においては、緩和パラメーターの温度依存性や、含水量依存性を明らかにしました。しかし、タンパク質の  $\mu$ SR 解析を進めるためにはミュオンの停止位置を明らかにすることが必要不可欠です。現在、タンパク質の主要構成要素について  $\mu$ SR 実験と理論計算を行い、ミュオンの停止位置、および、ミュオンとして停止しているか、ミュオニウムラジカルを形成しているかなど物質内でのミュオンの存在状態を明らかにすべく、解析を進めています (Fig. 5)。

## 論文リスト

(原著論文)

1. Harada, Y. Sugawara, H. Matsuura and T. Shimanouchi, "Preresonance Raman spectra of simple amides using ultraviolet laser" *J. Raman Spectrosc.* **4**, 91-98(1975).
2. Y. Sugawara, H. Hamaguchi, I. Harada and T. Shimanouchi, "Resonance Raman spectra of N-methylthioacetamide" *Chem. Phys. Lett.* **52**, 323-326(1977).
3. Y. Sugawara, I. Harada, H. Matsuura and T. Shimanouchi, "Preresonance Raman studies of poly(L-lysine), poly(L-glutamic acid), and deuterated N-methylacetamides" *Biopolymers*, **17**, 1405-1421(1978).
4. Y. Sugawara, Y. Hamada, A. Y. Hirakawa and M. Tsuboi, "Occurrence of the cis-peptide in gaseous N-methylformamide as revealed by rotational structure in its infrared spectrum" *Chem. Phys. Lett.* **67**, 186-188(1979).
5. Y. Sugawara, Y. Hamada, A. Y. Hirakawa, M. Tsuboi, S. Kato and K. Morokuma, "Ab initio MO calculation of force constants and dipole derivatives for formamides" *Chem. Phys.* **50**, 105-111(1980).
6. Y. Sugawara, A. Y. Hirakawa, M. Tsuboi, S. Kato and K. Morokuma, "Force constants of trans and cis N-methylformamide from ab initio SCF MO calculations" *Chem. Phys.* **62**, 339-351(1981).
7. K. Ichikawa Y. Hamada, Y. Sugawara, M. Tsuboi, S. Kato and K. Morokuma, "Ab initio study on cyanamide and isocyanamide" *Chem. Phys.* **72**, 301-312(1982).
8. Y. Hamada, N. Tanaka, Y. Sugawara, A. Y. Hirakawa, M. Tsuboi, S. Kato and K. Morokuma "Force field in the methylamine molecule from ab initio MO calculation" *J. Mol. Spectrosc.* **96**, 313-330 (1982).
9. Y. Sugawara, Y. Hamada and M. Tsuboi, "Vibration-rotation spectra of formamides" *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **56**, 1045-1050(1983).
10. N. Tanaka, Y. Hamada, Y. Sugawara, M. Tsuboi, S. Kato and K. Morokuma, "Force field in the hydrazine molecule from ab initio MO calculation" *J. Mol. Spectrosc.* **99**, 245-262(1983).
11. Y. Sugawara, M. Iwamori, J. Portoukalian and Y. Nagai, "Determination of N-acetylneuraminic acid by gas chromatography-mass spectrometry with a stable isotope as internal standard" *Anal. Biochem.* **132**, 147-151(1983).
12. Y. Sugawara and H. Iwasaki, "Structure of disodium uridine diphosphoglucose dihydrate and refinement of dipotassium glucose 1-phosphate dihydrate (monoclinic form)" *Acta Crystallogr.* **C40**, 389-393(1984).
13. Y. Sugawara, A. Y. Hirakawa and M. Tsuboi, "In-plane force constants of the peptide group: Least-squares adjustment starting from ab initio values of N-methylacetamide" *J. Mol. Spectrosc.* **108**, 206-214(1984).
14. S. Matsuura, T. Sugimoto, S. Murata, Y. Sugawara and H. Iwasaki, "Stereochemistry of biopterin cofactor and facile methods for the determination of the stereochemistry of a biologically active 5,6,7,8-tetrahydropterin" *J. Biochem.* **98**, 1341-1348(1985).
15. T. Sugawara, S. Murata, K. Kimura, H. Iwamura, Y. Sugawara, and H. Iwasaki, "Design of

- molecular assembly of diphenylcarbenes having ferromagnetic intermolecular interactions, "J. Am. Chem. Soc. **107**, 5293-5294(1985).
16. Y. Sugawara, H. Iwasaki, N. Suzuki, and S. Okuda, "Structure of 2-acetamido-3-amino-2,3-dideoxy-D-glucofuranurono-6,3-lactam" *Carbohydr. Res.* **142**, 195-201(1985).
  17. Y. Sugawara, A. Y. Hirakawa, M. Tsuboi, S. Kato, and K. Morokuma, "Ab initio SCF MO study on the force field of amides" *J. Mol. Spectrosc.* **115**, 21-33(1986).
  18. H. Urabe, Y. Sugawara, M. Tsukakoshi, A. Ikegami, H. Iwasaki, and T. Kasuya, "Raman spectroscopic study on low-frequency collective modes in self-associates of guanosine monophosphates" *Biopolymers*, **26**, 963-971(1987).
  19. Y. Wakatsuki, H. Yamazaki, T. Kobayashi and Y. Sugawara, "Effect of electron-withdrawing substituents on the cobalt(II)-coordinated cyclopentadienyl ring. Spectra and diene substitution kinetics of [Co(C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>X)(1,5-cyclooctadiene)]" *Organometallics*, **6**, 1191-1196(1987).
  20. T. Nozaka, I. Morimoto, M. Ishino, T. Okitsu, H. Kondoh, K. Kyogoku, Y. Sugawara and H. Iwasaki, "Mutagenic principles in *Sinomeni Caulis et Rhizoma*. I. The structure of a mutagenic alkaloid, N-demethyl-N-formyldehydronuciferine, in the neutral fraction of the methanol extract" *Chem. Pharm. Bull.* **35**, 2844-2848(1987).
  21. H. Ohta, K. Nagasaka, H. Takeuchi, I. Harada, Y. Sugawara and H. Iwasaki, "Lattice-dynamical calculations of N-methyl-N-ethyl-morpholinium bis(tetracyanoquinodimethane) above and below the spin-Peierls transition temperature" *Phys. Rev. B*, **37**, 7691-7697(1988).
  22. K. Umemoto, S. Oikawa, M. Aida and Y. Sugawara, "Intermolecular nuclear Overhauser effect and atomic pair potential approaches to wheat germ agglutinin-sugar binding" *J. Biomol. Struct. Dynam.* **6**, 593-608(1988).
  23. M. Tokumoto, K. Murata, N. Kinoshita, K. Yamaji, H. Anzai, Y. Tanaka, Y. Hayakawa, K. Nagasaka and Y. Sugawara, "Superconductivity in BEDT-TTF based organic metals: Role of uniaxial pressure and inverse isotope effect" *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **181**, 295-304(1990).
  24. Y. Tanaka, N. Kinoshita, Y. Asai, M. Tokumoto, Y. Hayakawa, K. Nagasaka and Y. Sugawara, "Isotope effect in TTF-analog based organic superconductors" *Synthetic Metals*, **42**, 2231-2234(1991).
  25. Y. Sugawara, N. Kamiya, H. Iwasaki, T. Ito and Y. Satow, "Humidity-controlled reversible structure transition of disodium adenosine 5'-triphosphate between dihydrate and trihydrate in a single crystal state" *J. Am. Chem. Soc.* **113**, 5440-5445(1991).
  26. H. Urabe, Y. Sugawara, M. Tsukakoshi, and T. Kasuya, "Low-frequency Raman spectra of guanosine and nucleotides in ordered state: origin of the lowest-frequency mode" *J. Chem. Phys.* **95**, 5519-5523(1991).
  27. T. Tachikawa, A. Izuoka, R. Kumai, T. Sugawara, and Y. Sugawara, "Preparation and properties of double-bridged BEDT-TTF dimer and its perchlorate salt" *Solid State Comm.* **82**, 19-22(1992).
  28. T. Mochida, S. Matsumiya, A. Izuoka, N. Sato, T. Sugawara and Y. Sugawara, "Structure of 3-hydroxyphenalenone" *Acta Crystallogr. C* **48**, 680-683(1992).
  29. T. Sugawara, T. Mochida, A. Miyazaki, A. Izuoka, N. Sato, Y. Sugawara, K. Deguchi, Y.

- Moritomo, and Y. Tokura, "Organic paraelectrics resulting from tautomerization coupled with proton-transfer" *Solid State Comm.* **83**, 665-668(1992).
30. H. Iwasaki, Y. Sugawara, T. Adachi, S. Morimoto and Y. Watanabe, "Structure of 6-O-methylerythromycin A (clarithromycin)" *Acta Crystallogr.* **C49**, 1227-1230(1993).
  31. Y. Tanaka, M. Tokumoto, and Y. Sugawara, "Isotope effect and intramolecular vibration on C60" *Trans. Mat. Res. Soc. Jpn.* **16A**, 345-348(1994).
  32. Y. Sugawara, Y. Iimura, H. Iwasaki, H. Urabe and H. Saito, "Reversible crystal transition of guanosine between the dihydrate and anhydrous state coupled with adsorption-desorption process" *J. Biomol. Struct. Dyn.* **11**, 721-729(1994).
  33. H. Urabe, Y. Sugawara and T. Kasuya, "Humidity-dependent structural transition of guanosine and Na<sub>2</sub>ATP crystals studied by low frequency Raman spectroscopy" *Phys. Rev.* **B51**, 5666-5672(1995).
  34. Y. Tanaka, M. Tokumoto and Y. Sugawara, "Isotope Effect on Intramolecular Vibration of C60" *Fullerene Sci. & Tech.* **3**, 179-223(1995).
  35. Y. Sugawara, "Phase transition of nucleotides induced by relative humidity" *Proc. The 24th Seminar on Science and Technology Crystallography*, 91-98(1995).
  36. M. Aida, Y. Sugawara, S. Oikawa and K. Umemoto, "Structural fluctuation of methyl N,N'-diacetyl- $\beta$ -D-chitobioside in vacuo and in aqueous solution: molecular dynamics simulations and proton NMR spectroscopy" *Int. J. Biol. Macromol.* **17**, 227-235(1995).
  37. Y. Yokoyama, S. Uchida, Y. Yokoyama, Y. Sugawara and Y. Kurita "Diastereoselective photochromism of an (R)-binaphthol-condensed indolylfulgide" *J. Am. Chem. Soc.* **118**, 3100-3107(1996).
  38. Y. Sugawara, H. Urabe, K. Kobayashi, Y. Iimura and H. Iwasaki, "Crystal structure and humidity-induced phase transition of disodium salt of adenosine 5'-monophosphate" *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **227**, 255-258(1996).
  39. G. Ono, A. Izuoka, T. Sugawara and Y. Sugawara, "Unusual conductive behavior of (BEDT-TTF)<sub>3</sub>Cl<sub>2</sub> hydrate salts" *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **285**, 63-68 (1996).
  40. T. Okuno, A. Izuoka, T. Ito, S. Kubo, T. Sugawara, N. Sato, and Y. Sugawara, "Reactivity of mesogenic diacetylenes coupled with phase transitions between crystal and liquid crystal phases" *J. Chem. Soc., Perkin Trans.* **2**, 889-895(1998).
  41. H. Urabe, Y. Sugawara, M. Ataka and A. Rupprecht, "Low-frequency Raman spectra of lysozyme crystals and oriented DNA films: Dynamics of crystal water" *Biophys. J.* **74**, 1533-1540(1998).
  42. S. Yamamura, M. Takata, M. Sakata and Y. Sugawara, "Nature of the hydrogen bond in tetragonal KDP(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) observed by maximum entropy method" *J. Phys. Soc. Jpn.* **67**, 4124-4127(1998).
  43. G. Ono, A. Izuoka, T. Sugawara and Y. Sugawara, "Structure and physical properties of a hydrogen-bonded self-assembled material composed of a carbamoylmethyl substituted TTF derivative" *J. Mater. Chem.* **8**, 1703-1709(1998).
  44. S. Yamamura, Y. Sugawara, M. Takata and M. Sakata, "Imaging of the electron density

distributions of hydrogen in LiH and LiOH by maximum entropy method "J. Phys. Chem. Solids, **60**, 1721-1724(1999).

45. Y. Sugawara, A. Nakamura, Y. Iimura, K. Kobayashi and H. Urabe, "Crystallographic investigation of humidity-induced phase transition of disodium cytidine 5'-monophosphate and crystal structure of three hydrates" J. Phys. Chem. B **106**, 10363-10368(2002).
46. Y. Shindo, A. Naito, S. Tuzi, Y. Sugawara, H. Urabe and H. Saito, "Stepwise conformational transition of crystalline disodium adenosine 5'-triphosphate with relative humidity as studied by high resolution solid state <sup>13</sup>C and <sup>31</sup>P NMR" J. Mol. Struct. **602-603**, 389-397(2002).
47. M. Fujihashi, D. H. Peapus, E. Nakajima, T. Yamada, J. Saito, A. Kita, Y. Higuchi, Y. Sugawara, A. Ando, N. Kamiya, Y. Nagata and K. Miki, "X-ray crystallographic characterization and phasing of a fucose-specific lectin from *Aleuria aurantia*" Acta Crystallogr. D **59**, 378-380(2003).
48. K. Kamiya, Y. Sugawara and H. Umeyama, "Algorithm for normal mode analysis with general internal coordinate" J. Comp. Chem. **24**, 826-841(2003).
49. S. Yoneda, Y. Sugawara and H. Urabe, "Crystal water dynamics of guanosine dihydrate: Analysis of atomic displacement parameters, time profile of hydrogen-bonding probability and translocation of water by MD simulation" J. Phys. Chem. B, **109**, 1304-1312(2005).
50. C. Kimura, M. Nukina, K. Igarashi and Y. Sugawara, "Hydroxyergothionein, a new ergothioneine derivative from the mushroom *Lyophyllum connatum*, and its protective activity against carbon tetrachloride-induced injury in a primary culture hepatocytes" Biosci. Biotechnol. Biochem. **69**, 357-363(2005).
51. M. Ishimaru, T. Toyota, K. Takakura, T. Sugawara and Y. Sugawara, "Helical aggregate of oleic acid and its dynamics in water at pH 8" Chem. Lett. **34**, 46-47(2005).
52. S. Yamamura, Y. Sugawara, H. Terao, M. M. Matsushita and T. Sugawara, "Dielectric properties associated with structural phase transitions observed in tetramethylammonium salt of o-phenylenebis(squaric acid)" Chem Phys, **322**, 392-398(2006).
53. Tohara, Y. Sugawara and M. Sato, "Preparation and characterization of meso-tetrakis(2,6-diaryloxyphenyl)porphyrins" J. Porphyrins Phthalocyanines, **10**, 101-116(2006).
54. S. Yoneda, Y. Sugawara and H. Urabe, "Analysis of low-frequency phonons in guanosine dihydrate based on molecular dynamics simulations" J. Phys. Chem. A **112**, 7055-7063(2008).
55. M. Ootaki, S. Endo, Y. Sugawara and T. Takahashi "Crystal habits of cubic insulin from porcine pancreas and evaluation of intermolecular interactions by macrobond and EET analyses" J. Crystal Growth, **311**, 4226-4234 (2009).
56. H. Komatsu, M. M. Matsushita, S. Yamamura, Y. Sugawara, K. Suzuki and T. Sugawara "Influence of magnetic field upon the conductance of a unicomponent crystal of a tetrathiafulvalene-based nitronyl nitroxide" J. Am. Chem. Soc. **132**, 4528-4529(2010).
57. H. Takusagawa, S. Yamamura, S. Endo, Y. Sugawara, T. Inagaki and M. Nakasako, "New monoclinic form of bovine pancreatic ribonuclease A from a salt solution and comparison of intermolecular interactions in ribonucleases" J. Crystal Growth, **319**, 49-56(2011).
58. T. Kiyotani, and Y. Sugawara, "L-Leucylglycine 0.67-hydrate and [(4S)-2,2-dimethyl-4-(2-



- methylpropyl)-5-oxoimidazolidin-3-ium-1-yl]acetate" *Acta Crystallogr.* **C68**, o498-o501(2012).
59. M. Ootaki, Y. Nawa, T. Hiroi, H. Matsui and Y. Sugawara, "L-Leucylglycylglycine" *Acta Crystallogr.* **E69**, o660(2013).
  60. Y. Mizukawa, K. Suzuki, S. Yamamura, Y. Sugawara, T. Sugawara and M. Iwasaka, "Magnetic Manipulation of Nucleic Acid Base Microcrystals for DNA Sensing" *IEEE Transactions Magnetics.*, **50**, 500190 (2014).
  61. Y. Takeuchi, Y. Sugawara, T. Sugawara and M. Iwasaka, "Magnetic Rotation of Monosodium Urate and Urinary Tract Stones for Clinical Treatment Applications" *IEEE Transactions Magnetics.*, **50**, 610120 (2014).
  62. Y. Sugawara, A. D. Pant, W. Higemoto, K. Shimomura, E. Torikai and K. Nagamine, "Hydration Effects on Electron Transfer in Biological Systems Studied by  $\mu$ SR", *JPS Conference Proceedings* **2**, 10310-1-5(2014).
  63. A. D. Pant, Y. Sugawara, I. Yanagihara, G. P. Khanal, I. Shiraki, W. Higemoto, K. Shimomura, K. Ishida, F. L. Pratt, E. Torikai, K. Nagamine, "Hydration Effect on Electron Transfer in Cytochrome c Monitored by  $\mu$ SR" *JPS Conference Proceedings* **8**, 033007-1-5(2015).
  64. Y. Sugawara, Y. Hirano, S. Yamamura, S. Endo, M. Ootaki, N. Matsumoto and T. Takahashi, "Electrostatic energy of transfer and macrobond analyses of intermolecular interactions and hydration effects in protein crystals in a low ionic environment", *J. Crystal. Growth*, **468**, 283-289(2017).
  65. A. D. Pant, Y. Sugawara, H. Nakanishi, E. Torikai, W. Higemoto, K. Shimomura and K. Nagamine, "Theoretical Calculations of Charge States and Stopping Sites of Muons in Glycine and Triglycine" *JPS Conf. Proc.*, **21**, 011038 (2018).
  66. M. Tsubonoya, A. Murofushi, S. Yamamura and Y. Sugawara, "Crystal structure and sequential dehydration transitions of disodium guanosine 5'-monophosphate tetrahydrate" *Acta Crystallogr.* **C74**, 1153-1159(2018).
  67. Y. Sugawara, "Opportunities for Life Science by Use of Muon Spin Spectroscopy: With a View to Monitoring Protein Functions" *JPS Conf. Proc.* **25**, 011008 (2019).

(著作物)

1. Y. Sugawara, "Characteristics of Crystal transitions among pseudopolymorphs." *Advances in organic Crystal Chemistry*, Eds. R. Tamura & M. Miyata, pp.317-334, Springer Japan, Tokyo (2015).