

日本学士院賞 受賞者

北きた川がわ

進すすむ



専攻学科目 錯体化学

生年	昭和二十六年	七月	京都大学工学部石油化学科卒業
略歴	昭和四九年	三月	京都大学大学院工学研究科博士課程修了
	同 五四年	三月	近畿大学理工学部助手
	同 五四年	四月	工学博士
	同 五四年	七月	近畿大学理工学部助教授
	同 六三年	四月	東京都立大学理学部教授
	平成 四年	四月	京都大学大学院工学研究科教授（現在に至る）
	同 一〇年	六月	京都大学物質—細胞統合システム拠点長・教授（現在に至る）
	同 二五年	一月	

工学博士北川 進氏の「多孔性金属錯体

材料の創製と応用に関する研究」に対す

る授賞審査要旨

見以降、小さな科学的進展を除いてはそのようなものは見当たらなかった。

ナノサイズの空間を持つ物質は我々の周りに溢れており、貯蔵、分離、触媒など生活に密着する用途に用いられ多孔性材料として良く知られている。代表物質である活性炭は古代エジプト（一五五〇B C）において医療用に用いられたことがパピルスに記述されており、現在においても水の浄化など幅広く用いられている。人類がその活性炭を発見したのち三千年を経て、一七五六年に当時の新しい多孔性材料として天然鉱石から無機物であるゼオライトが発見され、二〇世紀前半の人工合成の成功を経て、石油産業をはじめとして人類の産業に大きな進歩をもたらした。このように既存の多孔性材料は、人類の生活に不可欠のものとして長年にわたって利用されてきた。もし、活性炭やゼオライトが担ってきたナノ細孔による機能を凌駕するような、貯蔵、分離などの機能を有する、あるいはまったく新しい多孔性機能を有する材料が発見されれば、人類の生活に革新的な変化をもたらす事が期待される。しかしゼオライトの発

無機材料は二世紀、有機材料（高分子）は一世紀にわたる歴史を持つている。一方二一世紀には豊かな社会を築くべく革新的材料の出現が期待されており、無機・有機複合材料に熱いまなざしが向けられている。多くの人が新しい材料創出に努力してきた中で注目すべき材料が北川 進氏により創出された。同氏は有機物と無機物からなる多孔性金属錯体材料（特に分子が多数つながった構造を有するため、「多孔性配位高分子」、または無機の金属イオンと有機分子からなる細孔を持つ構造を有することから「無機・有機骨格材料」とも呼称される）を創製し、その化学を新たな科学分野にまで発展させた。この化学の画期的な点は、有機分子と無機イオンの素子の設計と配位結合（分子と金属イオンを結びつける接着剤の役割）を制御するだけで自在に多様な規則構造を精密かつ簡便に合成しうることである。これによりナノサイズの規則的細孔（多孔性）を持ち、細孔表面積、吸着量など他に追従を許さない画期的な機能性材料の入手が可能となった。

北川氏は、一九九七年に一〇〇℃を超える高温でも細孔が壊れず

安定に存在し、メタンをはじめとする様々な気体分子の捕捉、貯蔵を可能にする多孔性配位高分子を世界で初めて合成した。これは「無機物に比べてもろく、分子、イオンを収容する材料として適さない」とみなされていた無機・有機複合材料にかかわる定説を覆し、本材料科学の確立に先駆的・根幹的貢献をした。これ以来、本材料分野は世界的に爆発的な研究発表を巻き起こし、現在では、環境、エネルギー、バイオ課題にかかわる気体分子（水素、窒素、酸素、二酸化炭素、一酸化窒素、メタン、アセチレン、エタン など）を自在に捕捉、貯蔵、変換する新しい材料としての実用研究が進められている。実際、既存材料を遙かにしのぐ細孔表面積や吸蔵量を持つ多孔性金属錯体材料が出現している。

北川氏の顕著な業績の一つとして、爆発性気体であるアセチレンの選択的、安全、大量貯蔵の実現があげられる。これは既存材料では実現し得ないため想像もされなかった性能である。本研究成果は米国化学会誌において二〇〇五年を代表する画期的研究成果として選ばれた。北川氏はさらに、有機分子の「柔らかい」構造と金属イオンに由来する特性を組み合わせることによって動的性質をもたせた多孔性金属錯体材料の合成に成功した。この機能を用いることで排ガス、バイオガスからの二酸化炭素やメタンの分離が低エネルギーで行えることが可能となった。さらに多孔性金属錯体材料を用い

て、無加湿、中高温域で動作するプロトン伝導物質の開発に成功した。本成果は、エネルギー資源の乏しい我が国において、高効率・低エネルギー分離技術、また次世代のエネルギーの本命として注目を集める燃料電池にかかわる新しい材料提供に大きく寄与した。北川氏は革新的な発見、発明を重ね、創発的な研究展開により五〇〇報を超える学術論文を発表し、多数の特許を取得して世界を先導するとともに、基礎科学から応用科学の広きに渡って注目される材料として認知させた。そして「配位空間の化学」という先駆的な分野を拓き、国内外の多くの若い研究者も育成している。特に二酸化炭素やメタンなどの気体分子を低エネルギーで自在に捕捉、貯蔵する新しい多孔性金属錯体材料を発明し本材料の商標登録 (condiflex®) を行うとともに市販に向けた開発を進めている。

以上述べたように、北川氏は無機・有機複合材料の基礎及び応用の学問領域の創成のみならずその産業的価値を大きく広げ、今日のエネルギー、環境、生命にかかわる諸問題に対し多大な貢献が期待されるものである。これらの業績によりフンボルト賞 (二〇〇八)、日本化学会賞 (二〇〇九)、トムソン・ロイター引用栄誉賞 (二〇一〇)、紫綬褒章 (二〇一一)、英国王立化学会ド・ジャン賞 (二〇一三) などが授与されている。

丹波隆文、梁盛保と谷柳剛

1. M. Kondo, T. Yoshitomi, K. Seki, H. Matsuzaka and S. Kitagawa, Three-Dimensional Framework with Channeling Cavities for Small Molecules: $\{[M_2(4,4'-bpy)_2(NO_3)_2] \cdot xH_2O\}_n$ ($M = Co, Ni, Zn$), *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, **36**, 1725–1727(1997).
2. M. Kondo, T. Okubo, A. Asami, S. Noro, T. Yoshitomi, S. Kitagawa, T. Ishii, H. Matsuzaka and K. Seki, Rational Synthesis of Stable Channel-Like Cavities with Methane Gas Adsorption Properties: $\{[Cu_2(pzdc)_2(L)]_n\}$ (pzdc=pyrazine-2,3-dicarboxylate; L=a Pillar Ligand), *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, **38**, 140–143 (1999).
3. S. Noro, S. Kitagawa, M. Kondo and K. Seki, A New Methane Adsorbent, Porous Coordination Polymer $\{[CuSiF_6(4,4'-bipyridine)_2]_n\}$, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **39**, 2081–2084 (2000).
4. R. Kitaura, K. Fujimoto, S. Noro, M. Kondo and S. Kitagawa, A Pillared-Layer Coordination Polymer Network Displaying Hysteric Sorption: $[Cu_2(pzdc)_2(dpyg)]_n$ (pzdc=Pyrazine-2,3- dicarboxylate; dpyg=1, 2-Di(4-pyridyl)-glycol), *Angew. Chem. Int. Ed.*, **41**, 133–135 (2002).
5. R. Kitaura, S. Kitagawa, Y. Kubota, T. C. Kobayashi, K. Kindo, Y. Mita, A. Matsuo, M. Kobayashi, H. Chang, T. Ozawa, M. Suzuki, M. Sakata and M. Takata, Formation of a One-Dimensional Array of Oxygen in a Microporous Metal-Organic Solid, *Science*, **298**, 2358–2361 (2002).
6. R. Kitaura, K. Seki, G. Akiyama and S. Kitagawa, Porous Coordination-Polymer Crystals with Gated Channels Specific for Supercritical Gases, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **42**, 428–431 (2003).
7. R. Matsuda, R. Kitaura, S. Kitagawa, Y. Kubota, T. C. Kobayashi, S. Horike and M. Takata, Guest Shape-Responsive Fitting of Porous Coordination Polymer with Shrinkable Framework, *J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 14063–14070 (2004).
8. R. Matsuda, R. Kitaura, S. Kitagawa, Y. Kubota, R. V. Belosludov, T. C. Kobayashi, H. Sakamoto, T. Chiba, M. Takata, Y. Kawazoe and Y. Mita, Highly Controlled Acetylene Accommodation in a Metal-Organic Microporous Material, *Nature*, **436**, 238–241 (2005).
9. T. K. Maji, R. Matsuda and S. Kitagawa, A Flexible Interpenetrating Coordination Framework with a Bimodal Porous Functionality, *Nature Materials*, **6**, 142–148 (2007).
10. S. Burekacw, S. Horike, M. Higuchi, M. Mizuno, T. Kawamura, D. Tanaka, N. Yanai and S. Kitagawa, One-Dimensional Imidazole Aggregate in Aluminum Porous Coordination Polymers with High Proton Conductivity, *Nature Materials*, **8**, 831–836 (2009).
11. S. Shimomura, M. Higuchi, R. Matsuda, K. Yoneda, Y. Hijikata, Y. Kubota, Y. Mita, J. Kim, M. Takata and S. Kitagawa, Selective Sorption of Oxygen and Nitric Oxide by an Electron-Donating Flexible Porous Coordination Polymer, *Nature Chemistry*, **2**, 633–637 (2010).
12. H. Sato, R. Matsuda, K. Sugimoto, M. Takata and S. Kitagawa, Photoactivation of a Nanoporous Crystal for On-Demand Guest Trapping and Conversion, *Nature Materials*, **9**, 661–666 (2010).
13. N. Yanai, K. Kitayama, Y. Hijikata, H. Sato, R. Matsuda, Y. Kubota, M. Takata, M. Mizuno, T. Uemura and S. Kitagawa, Gas Detection by Structural Variations of Fluorescent Guest Molecules in a Flexible Porous Coordination Polymer, *Nature Materials*, **10**, 787–793 (2011).
14. J. Reboul, S. Furukawa, N. Horike, M. Tsotsalas, K. Hirai, H. Uehara, M. Kondo, N. Louvain, O. Sakata and S. Kitagawa, Mesoscopic Architectures of Porous Coordination Polymers Fabricated by Pseudomorphic Replication, *Nature Materials*, **11**, 717–723 (2012).
15. Y. Sakata, S. Furukawa, M. Kondo, K. Hirai, N. Horike, Y. Takashima, H. Uehara, N. Louvain, M. Melikhov, T. Tsurutoka, S. Isoda, W. Kosaka, O.

- Sakata and S. Kitagawa, Shape-Memory Nanopores Induced in Coordination Frameworks by Crystal Downsizing, *Science*, **339**, 193–196 (2013).
16. D. Urneyama, S. Horike, M. Inukai and S. Kitagawa, Integration of Intrinsic Proton Conduction and Guest-Accessible Nanospace into a Coordination Polymer, *J. Am. Chem. Soc.*, **135**, 11345–11350 (2013).
17. H. Sato, W. Kosaka, R. Matsuda, A. Hori, Y. Hijikata, R. V. Belosludov, S. Sakaki, M. Takata and S. Kitagawa, Self-Accelerating CO Sorption in a Soft Nanoporous Crystal, *Science*, **343**, 167–170 (2014).

総論

- (1) S. Kitagawa and M. Kondo, Functional Micropore Chemistry of Crystalline Metal Complex-Assembled Compounds, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **71**, 1739–1753 (1998).
- (2) S. Kitagawa, R. Kitaura and S. Noro, Functional Porous Coordination Polymers, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **43**, 2334–2375 (2004).
- (3) S. Horike, S. Shimomura and S. Kitagawa, Soft Porous Crystals, *Nature Chem.*, **1**, 695–704 (2009).
- (4) S. Horike, D. Urneyama and S. Kitagawa, Ion Conductivity and Transport by Porous Coordination Polymers and Metal-Organic Frameworks, *Acc. Chem. Res.*, **46**, 2376–2384 (2013).