

# 大震災後のセラミックス研究

徳田 陽明

京都大学化学研究所  
tokuda@noncry.kuicr.kyoto-u.ac.jp

## はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災と、その後の原発災害を目の当たりにして、私は大きな衝撃を受けた。原発災害からの復興には多くの障害が付きまとい、容易ではないことが予想できる。このような災害復興には多くの叡知が必要であり、この問題に携わることは大学人の責務であろう。

本記事においては、私の研究概略を始めに記し、どのようにして復興支援に至ったか、そして今後のセラミック研究がどうあるべきかについての雑考を記したい。

## ガラス研究との出会い

セラミックス研究に従事される読者各位は、ガラスやアモルファスになじみがないかもしれない。また、焼結の過程で結晶化度の悪かった試料は失敗作と見なされるとも聞く。ガラスはミクロスコピックには不定形であるがゆえに、マクロスケールでは均質であり、光学的な異方性が無いという興味深い材料である。そのため、古くは工芸品として利用され、現代では先端技術の屋台骨を支える材料となっている。

思い起こすと今から15年ほど前に卒業した京都大学工学部工業化学科（旧制）は、諸先生方のご尽力によってガラス研究の中心地であったし、今なお、そうである。そのようなことは当時知るよしも無かったのだが、研究室配属の際、無機化学の研究が行いたいと考え、協力講座の京都大学化学研究所の横尾研究室へ入門したのが、ガラス研究との出会いとなった。当時、当懇話会の理事をされている幸塚広光先生にもご指導頂ける幸運があり、当時学んだことがその後の研究に多いに役立っている。

さて、当初から現在も抱いている研究上の興味は、「ガラスは不定形と言われているが、本当に秩序が何も無く構造が決まっているのだろうか？」というものである。シリカガラスを例に挙げると、「ケイ素に酸素が配位した四面体構造は変形せず、四面体同士のつながり方によって乱れが生み出されるとされている。このような乱れは、勝手気ままに生み出されるのだろうか、それとも何らかの強制力のもとに生じるのであろうか」という疑問ともいえる。

この問題を解決するために、我々はこれまでに固体 NMR と量子化学計算を併用した詳細な解析を行ってきた。その結果、シリカガラスにおける小員環（三員環や四員環）が重要な役割を果たしていること



図1 固体 NMR 装置の外観

を見出した<sup>i</sup>。

また、混合アルカリ効果（複数のアルカリイオンの存在によるイオン伝導度の低下や化学的安定性の向上）の要因を解明するために、アルカリイオンの構造解析を行ってきた。その結果、混合アルカリケイ酸塩中のアルカリイオンの配置はアルカリイオンの電場強度によって支配され、ガラス構造には何らかの秩序が存在することを明らかにした。また、各アルカリイオンは固有のサイトに存在し、それらのイオン交換の際のエネルギー障壁が、混合アルカリ効果の要因であることを見出した<sup>ii</sup>。

### 有機・無機ハイブリッド材料

先に述べたようなガラスの構造解析に加えて、材料研究という観点からは、有機（高分子）材料と無機材料の両者の特徴を併せ持つ、有機・無機ハイブリッド材料に興味を持っている。無機材料の有する熱・機械的安定性や、化学的安定性と、有機（高分子）材料の有する多彩な機能性を両有する材料の開発である。有機・無機ハイブリッドの作製に適していると考えられるゾルゲル法を用いて、自己組織化によるマイクロ構造の作製を行った<sup>iii</sup>。

また、有機材料の有する生体材料との親和性・加工性と、無機材料の有する安定性の両者の特長を持つ新規材料についての研究も行って、タンパク質吸着・表面加工が可能で、化学的安定性の高い膜の作製にも成功した。

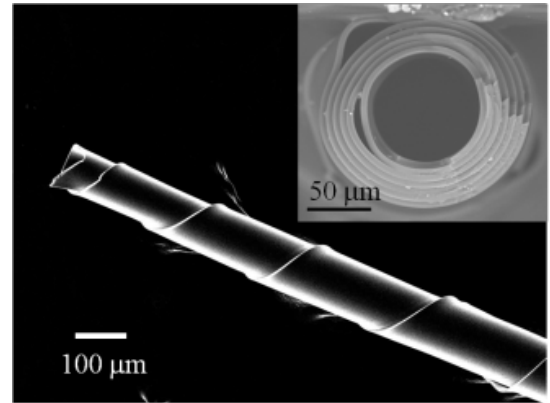


図2 自己組織化により形成した有機・無機ハイブリッド中空ファイバ

### 大震災後のセラミックス研究

2011年3月に起きた東日本大震災の時、皆さんは何を感じていたであろうか？私は大津波によってもたらされた被害の凄まじさに大きな衝撃を受けた。そして、その後起きた福島原発災害により、今後の日本の復興には多大な負担がかかり、将来世代へ債務を残してしまったとも感じていた。そして、原発を推進してきた科学技術が、事故の際の安全装置や除染技術を確立してこなかったことへの強い憤りを感じたのであった。

上記は、その後苦しむことになる現地の感情への配慮に欠け、また自分自身が科学技術に携わってきたのだから批判されるべき立場だということを棚上げにしたものであり、今となっては反省すべきものであるが、事故直後の偽りなき率直な心情である。

事故の収束が見えない中、状況を把握するべく、京都大学生存圏研究所の上田義勝助教と協力し、対策の検討を行った。色々な巡り合わせのおかげで、福島県農業総合センターの研究員の皆さんにご協力を頂くことができ、現地に赴いての実際の状況の把握が可能となった。汚染の実態を把握していくと、その原発事故と震災からの復興に向けての先の見えない状況に対して愕然とした。しかしながら、現地の研究員の方々の冷静で前向きな対応に感銘を受け、京都大学が持つ様々な研究設備や技術による研究支援の可能性を探る事となった。

当初は教員数名によるボランティア的な支援であったが、その後、福島県との連携支援研究を正式に行うことが決まり、福島県で採取した土壌をサンプルとして持ち帰り、組成評価や放射線強度測定を行うこととなった。さらに、土壌の除染に関しての検討に取りかかった。セシウムの環境中への固定化はイオン交換であるため、私のこれまでの研究を役立てることができるのではないかという直感があった。また、ガラス材料の原料となるケイ砂が細かく風化し、有機物と混ざることによって土壌が形成されるので、本

務であるガラス研究とも密接な関係があることにも気がついた。これらのことに意を強くして、より積極的な支援を行うこととなった。

放射性セシウムの除去を行うにあたって、多くの文献について調べたが、これは難しいことになったな、とすぐに気がついた。世界は、チェルノブイリやスリーマイルでの事故を経験したにも関わらず、有効な手立てが見つけられていなかったのである。そのため、諦めに似た気持ちを持ちつつ（つまり、既に試されたが、失敗したのだろうと予想しつつ）、種々の薬剤による洗浄についての試験を行った。しかしすぐに、強酸や強塩基による洗浄では、土壌が汚染されてしまって、農作物を育てることのできない土となってしまうことに気づかされた。除染における薬剤使用が実質的に厳しいと判断し、我々は何か別の除染方法が無いか、総当たり調査を開始した。その過程で新しい技術として着目したものが微細気泡技術である。

水などの液体中に含まれる気泡は、我々にとって身近な存在である。泡風呂の様に常に気泡を生成する事で、気泡を水中に存在させることができる。これらの気泡は、浮力によって水面へ浮上し、最終的には消滅する。この例における気泡の大きさ（直径）は、数 mm 程度である。気泡の大きさが 100  $\mu\text{m}$  程度になると、通常の大サイズの気泡とは異なった性質を示すことが明らかとなってきたiv。その特徴を活かし、医療分野や環境浄化分野で用いられている例もあるが、このような大きさの気泡は、微細気泡（マイクロバブル）と呼ばれる。気泡が微細化することによって、通常の大サイズの気泡とは異なった性質を示し、時として実用上、有用になることがある（注：微細気泡は、我々の望みを全てかなえてくれる魔法の技術ではない）。

詳細は省略するが、この技術を用いることによって、水と空気のみからなる洗浄剤が界面活性剤と同程度の洗浄効果をもたらすことを発見したv。現在、微細気泡製造メーカー、高速道路管理会社、大手ゼネコンと協業で実用化に向けた試験研究を行っており、この技術が近い将来に被災地の皆様の役立つものになると期待している。

ここまでは、私が被災地の支援研究を行うに至ったかの動機や経緯についての概略を述べてきた。私見であるが、関西は被災地から遠いこともあり、東北や関東とでは震災復興に対する熱意や関心が薄れているように感じ、残念である。今回のような甚大な事故が起きた場合には、私利を追求せず、一致団結して解決方法を探求する事こそが、公的機関の研究者にとっての本来の義務であり、急務ではないかと考えている。これまでに各自が蓄積してきた科学的知見等を活かし、復興へつなげるという視点が、大震災後のセラミックス研究において重要となってくるのではないだろうか。

#### 参考文献

- 1 Uchino T, Tokuda Y, Yoko T, Phys. Rev. B 58, 5322-5328 (1998).
- 1 Tokuda, Y, Oka, T, Takahashi, M, Yoko, T, J. Ceram. Soc. Japan vol. 119 p909-915, 2011  
Ueda Y, Tokuda Y, Fujimura S, Nihei N, and Oka T, Water Sci. Technol., in press
- 1 Takahashi, M, Figus, C, Malfatti, L, Tokuda, Y, Yamamoto, K, Yoko, T, Kitanaga, T, Tokudome, Y, Innocenzi, P, NPG Asia Mater. Vol. 4 DOI: 10.1038/am.2012.40, 2012
- 1 「微細気泡の最新技術」 NTS 出版（2006）
- 1 Ueda Y, Tokuda Y, Fujimura S, Nihei N, and Oka T, Water Sci. Technol., in press, 上田義勝, 徳田陽明, 月刊化学 11月号 p. 38 - 40 (2012)

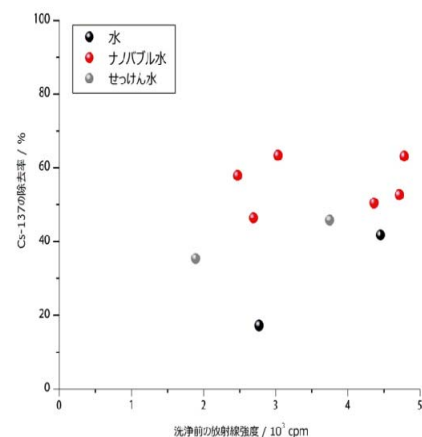


図 3 洗浄による放射性セシウムの除去率。●原水、●微細気泡水、●石けん水