

日中科学技術

No. 168

2019. 3. 20

発行所 特定非営利活動法人 日中科学技術交流協会

〒103-0003 東京都中央区日本橋横山町 3-1 横山町ダイカンプラザ 302 号

E-mail : icstee@alpha.ocn.ne.jp URL : <http://icst.in.cocan.jp/>

電話 : 03 (6661) 7929

Fax : 03 (6661) 7929

教えるから学ぶへ

九州大学名誉教授 古屋 廣高



ごく最近、日立製作所がイギリスの原子力発電所建設を事業費高騰のため断念するやの報道の後、中国がチャンスと考え始めたとのことでした。まさに中国の原子力産業の発展には驚いて

います。

私が初めて中国の原子力施設を訪問したのは、1986年11月で山脇先生と2名の京大炉の研究者の合計4人で北京郊外の周口店研究所、清華大学原子力研究所と成都郊外で原子力船を開発したといわれる原子炉施設でした。当時はまだ改革・解放前で、訪問した原子力施設も手製の測定器を始めとして古い装置が目立ち、研究環境も弱体で、研究者の研究意欲も低下していたように感じました。しかし、その3年後(1989年)に起こった天安門事件を機に状況は一変しました。改革・解放が進み、年10%近い大きな経済発展を遂げ、あっという間にGDPは日本を追い抜きました。原子力も同じような傾向を呈しています。その原動力は、原子力先進国に多くの研究者を送り出し、最新技術を

学ばせた後帰国させ、豊富な資金で原子力発展に寄与させたことです。

1999年、私の研究室にもマダム研究員が博士課程の学生として留学してきました。課程を修了後、核燃料サイクル開発機構で3年間働いた後帰国し、現在上海応用物理研究所教授として熔融塩原子炉研究開発、放射光施設放射線管理の統括者として活躍し、頻繁に来日しています。

私が九州大学を定年で退職する以前の1997年に太原郊外の放射能研究所、2000年に西安郊外の被覆管研究施設、宜賓(イーピン)市の核燃料製造工場を訪問したころにはまだ日本と比べると小規模でした。しかし、2010年上海応用物理研究所を訪問した折には日本のSpring-8に匹敵する立派な放射光施設を見て、日本を追い越す勢いを感じました。さらに熔融塩炉の研究開発には驚かされました。その実験炉が甘肅省に建設されることが決まったとのことで、感心しています。

日本では、福島事故、「もんじゅ」の開発中止と続き、原子力研究開発は沈滞しています。今後、日本が中国に学ぶ機会が増えるのではないかと思います。そのため日中科学技術交流は益々重要になるものと思います。(当協会会員)

2018 年度中国人留学生研究奨励賞授賞式

2019 年 1 月 11 日 於：東京大学山上会館 副理事長 藤崎博也



授賞式出席者の集合写真 (2019 年 1 月 11 日、東京大学山上会館にて)

前列左より 段振剛 (DUAN, Zhengang) 氏、アイスリタン メティエリ (Aiyisulitan Maimaitiaili) 氏、丁超 (DING, Chao) 氏、有山正孝理事長、呉松一等書記官、王旭三等書記官、後列左より 阿部弘亨教授、楊偉先生、藤崎博也副理事長、沈青教授、山脇道夫副理事長、永崎隆雄常務理事

去る 1 月 11 日、当協会の 2018 年度中国人留学生研究奨励賞授与式が、来賓として中国大使館の呉松一等書記官と王旭三等書記官をお迎えし、受賞者丁超氏の指導教員千葉大学沈青教授、段振剛氏の指導教員東京大学阿部弘亨教授、アイスリタン メティエリ氏の指導教員千葉大学近藤昭彦教授の代理の楊偉先生のご列席のもと、東京大学山上会館で開催されました。式では藤崎博也副理事長が司会にあたり、有山正孝理事長から、以下の 3 名の方々に賞が授与されました。

1. 丁 超 (DING, Chao)

1987. 9. 10 生まれ、甘肅省張掖市出身
電気通信大学大学院 情報理工学研究科 基盤理工学専攻 博士課程 修了 (2018. 9)
現在 電気通信大学 ポスドク 研究員

(2018. 10. 1 より)

研究テーマ: 高効率化に向けた新型太陽電池の界面制御

指導教員: 電気通信大学 情報理工学研究科 先進理工学専攻 沈 青 教授

2. 段 振剛 (DUAN, Zhengang)

1988. 7. 9 生まれ、四川省重慶市出身
東北大学大学院 工学研究科 量子エネルギー工学専攻 博士課程 修了 (2018. 9)
現在 中国核動力設計院 (NPIC) 研究員 (2018. 10 より)

研究テーマ: 燃料被覆管表面における自己修復機能の発現

指導教員: 東京大学大学院 工学系研究科 原子力専攻 阿部 弘亨教授

3. アイスリタン メメティエリ (Aiyisulitan Maimaitiaili)

1986. 8. 10 生まれ、新疆ウイグル自治区カシュガル市出身

千葉大学大学院 理学研究科 地球科学コース 博士課程 3 年

研究テーマ: 中国新疆ウイグル自治区カシュガル地域における土地利用変化の解析
指導教員: 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 近藤昭彦 教授

引続いて、有山理事長がこの賞の沿革と意義について述べられ、中国大使館の呉松一等書記官から祝辞をいただき、最後に今回の受賞者を代表して丁超氏が謝辞を述べました。

なお、授賞式に続いて受賞者による研究報告が行われました。以下は (1) 有山理事長のご挨拶、(2) 各受賞者の感想、

(3) 研究報告の概要です。

(1) 有山正孝理事長のご挨拶

本日ここに日中科学技術交流協会 2018 年度中国人留学生研究奨励賞の授賞式を、中華人民共和国駐日本国大使館の呉松書記官および王旭書記官、受賞者をご指導下さった先生方のご臨席の下に挙げてまいりましたことを嬉しく思います。まず受賞者の皆さんに、心からお祝いを申し上げます。また皆さんが留学生として一般の日本人学生と比べて何彼と不利な条件の下で良く刻苦勉勵され、優れた研究業績を挙げられましたことに敬意を表します。

当協会が皆さんに差し上げる賞は、ノーベル賞のように広く世に知られた賞でもなく、副賞もその 3 桁下の金額のささやかなものですが、知る人々間では高い評価を得ているものと自負しております。受賞者の皆さんは今回の受賞を一つの弾みとして更に研鑽を積み、研究者として大成して世界を舞台に活躍していただきたいと願っております。

この機会に受賞者の皆さんに日中科学技術交流協会とこの研究奨励賞の由来についてお話しておきたいと思っております。

日中科学技術交流協会が設立されたのは 1977 年 12 月ですが、その前に 1950 年代半ばからの長い準備期間がありました。

皆さまご承知の通り、日本と中国は数千年に上る文化交流の歴史を持っております。日本は多くのことを中国から学んで来ました。しかし 19 世紀末から日本は西欧の科学技術を吸収して急速な近代化に成功したため、はじめて中国から留学生を受け入れるようになりました。しかし 20 世紀前半、不幸な戦争の期間に留学生の受け入れはもとより文化交流も途絶してしまいました。

戦争終結後も日中間の国交は長らく正常化されませんでした。1950 年代の半ば、当時の日本学術会議の会員を中心とする日本の指導的な科学者の一部の人々が、日中間の学術交流の速やかな再開を願い多くの困難を克服し、中国科学院のご協力も得て交流の再開に成功したのです。この事業に関与された方々が、国交回復後の両国間の科学技術分野での交流の健全な発展を支援することを目的としてこの協会を設立されたのです。

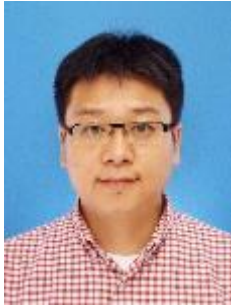
その初期に積極的活動をしておられた野上茂吉郎先生という東大教授で原子核理論の研究をしておいでになった方が亡くなられた際にご遺族から協会にご寄付を頂きました。当時の役員の方々がこの寄付金を最も有効に活用する方法を種々検討された結果、これを基に寄付を募って基金を設け、それにより 1987 年からこの研究奨励賞が設けられたのです。受賞者の累計は今年授賞される皆さんを加えて 145 名に達します。

以上の説明でご理解いただけたと思いますが、この賞は日中間の科学技術交流の再興と発展に尽力された先人たちの心のこもった賞なのです。この先人の意思を大切に私どもも微力を尽しておりますが、受賞者の皆さんにもこの経緯を知っていただき、願わくは将来、日中間の科学技術交流に協力していただければ幸いです。

2018年度中国人留学生研究奨励賞を受賞して 丁 超・段 振剛・アイスリタン メメティエリ

(1) 丁 超(DING, Chao)

電気通信大学 特任研究員



中学生の頃から、私は科学やフィクションに関する書籍や雑誌を愛読し、科学研究に夢中になっていきました。大学を卒業する時、太陽電池技術に深く興味を持っていた私は、科学研究者になりたいという心が

芽生え、大学院に進学することにしました。当時は光エネルギーの材料及び装置に関する研究に没頭しました。大学院での研究期間、研究室の多くの設備が日本製という状況を目の当たりにし、色々調べまして、日本企業の製品に対する精密性に私は深く感動しました。また、日本に留学して帰国した先輩たちからも日本の科学研究方面に関して多くのことを教えてもらいました。その上、日本の大学院は良好な学術雰囲気、高い教育レベル、謹厳な学問精神により、世界の研究者に高く評価されていました。以上のことから、私は日本に留学することを決心しました。

私は2015年4月に日本に来て、大学院研究生として沈青教授の研究室で勉強を始めました。日本に来たばかりの時には、分からないことばかりで、困ることがたくさんあり、勉強した日本語も全く通じませんでした。知り合いもいなくて、寂しくて、自国へ帰りたくなりました。でも、沈研究室の皆さんが、いろいろ助けてくださったので、私はすぐに日本での生活に慣れてきました。そして電通大国際交流センターの日本語コースに参加してからは、私はより多くの友達に会い、日本での生活が徐々に気楽に過ごすことが出来るようになっていきました。調布市の便利な生活環境、美しい電通大のキャンパス、揃った実験設備、そして競争の激しい学術的な雰囲気のおかげで、研究

生である私から見ると非常に刺激的な毎日となりました。半年の勉強の後、私は博士の入試に合格しました。2015年10月、私は沈青教授研究室の博士の身分として電気通信大学に入学しました。日本に留学して最先端の科学技術を学びたいという願いが留学の目的でした。その後の博士コースでの研究内容を決める時に、「高効率化に向けた新型太陽電池の界面制御」を研究テーマとすることになりました。それ以来、私は博士テーマの研究に専念してきました。大学院での3年間で、先生方の熱心な指導および研究室各メンバーから親切なアドバイスなどのおかげで、博士課程の研究は順調に進んできました。また、研究の結果も論文として発表されています。三年間の努力が実り、2018年の9月29日に博士学位を取得しました。この3年間を振り返って、私は学術知識を学んだだけでなく、それ以外の多くのことを学びました。私への懇切丁寧な指導で、研究や生活を助けていただいた沈青教授に心より感謝申し上げます。たくさんの分野の知識、学術に対するまじめな態度及び他人に優しい振る舞いのある沈先生は、私にとって生涯、模範となる人物です。

また、日本の大学での収穫は科学知識を学んだことと素敵な人と出会ったことだけではなく、さらに重要なことは自分の視野を大きく広げたこと、積極的に関与する考え方が養成されたことがありました。以上のように、日本での留学生活は私の人生にとって貴重な財産になるとともに、私が社会に向けて何をすべきかを自覚させてくれた大事な期間であったと思います。現在、私は特任研究員の身分として電気通信大学の沈教授の研究室で研究を続けます。私の研究能力をさらに向上させた後、私は中国に戻って大学や研究機関で科学研究に従事し続けたいと思っています。しかし、いつでもどこでも、日中の科学と文化交流に自分の力を捧げたいと思います。

最後に、日本で留学したい学生とすでに

日本で留学している学生に伝えたいことがあります。留学の目的を忘れないでください、勉強というものはいつでもどこでもできます。そのために、図書館の読書、学生との交流、教授からの指導に感謝の気持ちを込めて真面目な学生時代を生きてください。留学する時間はあなたの視野を広げる良い機会です。

学生時代にこのような良い機会を持つ機会を大切にしてください。あなたが困難に直面したならば、簡単に自分自身を否定せず、また、避けることはしないで先輩たちに積極的に尋ねてください。みんなが「学有所成」ことができればと思います。私たちの留学を通して、中国と日本の間の友好関係を促進し続けることができることを願っています。

(2) 段振剛 (DUAN, Zhengang)

東北大学 博士課程 (2015.9~2018.9)



唐の時代に日本が中国へ留学生を派遣したことは、私の中学生の時の歴史の教科書にも書いてありました。日本の漢字は中国からもたらされたものであり、平仮名と

片仮名は漢字に基づいて創造されたものです。中国の儒教思想は日本の文化に深く影響しており、現代に伝えられ保存されている建築や書物などにその名残を見ることができます。明治以降、第二次世界大戦等のアジアの国々との間の不幸な経験もありましたが、平和を迎え、日本は文化的にも経済的にも大きく成長しました。中国の隣の日本は一体どんな国なのだろうか、私はこれを自分の目で確かめてみたいと思い、日本への留学を決めました。

日本では博士課程の三年間を過ごしました。その間の生活を通して、日本の様々なことが今でも心に残っています。

まず、日本の人々は丁寧で優しいという特徴があります。誰もがルールを守りますので、他人に優しい社会です。特に交通ルールです。人々はルールをちゃんと守って、

運転は優しいし、安全です。日本の交通は大変興味深いことのひとつです。それから人間関係は比較的簡単で、幸せな生活を送っています。次は、医療です。日本の医療制度や設備は完璧だと思います。誰でも健康保険に入ることができ、健康への関心も高いです。素敵な医療保障に加えて、質の良い保育園や幼稚園が備わっています。日本の子供たちは幸せだと思います。

日本の教育も良質と思います。皆、本を読むことが好きそうです。書店はあちこちがあります。私が二年間住んでいた東海村にも図書館や文化センター等の公共施設があり、無料で本をたくさん借りることができました。小学生と中学生は課外活動が多彩です。一方で、高校生は大変忙しくて、ストレスが大きいそうです。どこでも塾があります。

儉約も良い習性と思います。食事は、野菜や肉等の種類がとても多く、でも量は少なめです。皆が完食しています。残飯を出さない生活は、資源も大切にすし、それに街のきれいさ、清潔さを保つにも有効です。日本の道路や建物等すごくきれいです。車やビルなどはきれいで、散歩して気持ちが良いです。

学生として過ごした三年間、私は先進的な設備を使い、その使用法を学び、たくさんの実験をしました。日本の学会や見学会にも出席して、様々な人々と交流しました。学会で日本語での口頭発表もしましたし、科学者の基本でもある論文発表もしました。苦しい時もありましたが、なんとか順調に成果をあげ、博士号をとり卒業しました。日本に住んでいた間に触れた多くの日本の文化や美しい景色は私と家族にとって美しく良い思い出になっています。

私は、現在は母国に戻り、研究所に勤務しています。平和を守り、中国と日本の友好関係が続くよう祈念します。微力ですが私も貢献します。

(3) アイスリタン メメティエリ (Ayisulitan Maimaitiaili)

千葉大学 博士 (2019.3)



私は、修士課程 2 年だった 2012 年に、新疆師範大学と千葉大学の交換留学生のプログラムに参加し、1 年学費免除で初めて日本に来ました。私が海外に来たのはこれが初めてでした。この後 1 年間は一度帰国し、2014 年 10 月から、私は近藤教授研究室の博士課程の身分として千葉大学に入学しました。

最初、日本の教育と母国の教育には非常に大きな違いがあることがわかりました。例えば、日本の大学では、1 週間に 1 回セミナーがありますが、ウイグルの大学では、とても少ないです。私は修士課程でしたが、私が学生の頃は、学生の研究室はなく、図書館や寮で勉強します。研究上の問題がある場合は、指導教員の事務所に行き、相談、議論をしていました。日本では、教授と学生の議論の機会はとても多く、毎週のセミナーに参加することで、発表の練習や研究の進め方、発表スライドにおいて、ページとページの連続性を持った作成方法、また、研究を一本のストーリーとしてどうまとめるか、他の学生に制限時間内で自分の研究内容をいかに伝えるかといった基礎的な部分から、科学を使って自分がどう世界に貢献するかといった、研究者にとって生涯の課題となる問いについて考える機会をも得ることができました。また、同じ研究室の他の学生の発表を聴くことで、その研究内容や手法について学ぶきっかけになりました。

日本に来る前、研究者としての私の経験は少なく、来日してから現在まで、研究とは何か、世界レベルの研究から見たときに、自分の研究がどの位置付けになるか、世界の標準レベルの論文の書き方、また論文を書くということは、自分の業績だけではなく、世界の人に自分の研究を広めるという

行為の一つであること、さらに博士号を取るためにどのような知識や経験が必要であるかといったことを学びました。このような経験を通して、国際誌にこれまでの私の研究成果を発表しました。

またこれまで得た知識や行った研究を基に、国際学会で口頭発表、ポスター発表を行いました。その中で、聴衆の方達は私の研究を認めてくれ、とても良いコメントを頂きました。

研究を開始した当初は、研究の中ではたくさんの方に問題に直面しましたが、皆さんの協力もあり、特に近藤教授のサポートで、最終的に全て解決出来ました。研究室の皆さんと近藤教授には、本当に心から感謝しています。四年間の努力が実り、研究課題を達成することが出来ました。そして、今年の 3 月 26 日に博士学位取得予定で、4 月から千葉大学で研究員になります。日本での長い留学生生活を無事に終えることが出来ました。これは、嬉しい気持ちとともに懐かしい思い出で胸がいっぱいです。振り返って見ると、日本に来てから博士課程を修了するまで、充実した留学生生活を過ごすことが出来たと思います。

私は 2018 年度中国人留学生研究奨励賞を受賞できたことをとても嬉しく思います。そして日中科学技術交流協会の愛情と誠実なご好意のおかげで、私は私の最高の敬意と心からの感謝の意を表したいと思います。

修了後は、新疆ウイグルに帰国し、大学の教員になることが私の目標です。これらの経験を中国にいる人達に伝えることで、日中関係の改善、お互いの理解を増進できると考えます。私たちの行動で日中の交流を促進し、平和を目指して人類社会の発展に力を捧げます。そこで、自分の学んだ知識や経験を基に、新疆ウイグルに貢献したいと思います。

2018 年度中国人留学生研究奨励賞受賞者の 研究報告の概要

2019 年 1 月 11 日 於 東京大学山上会館一階 食堂個室 No. 4

授賞式に引き続き、同日 14 時から、今回の受賞者 3 名による研究報告会が行われました。なお、各受賞者の研究報告に先立って、それぞれの指導教員であられた沈青先生、阿部先生、楊偉先生(近藤昭彦先生の代理)から、受賞者の研究の特色などについて簡単にご紹介を頂きました。以下は各受賞者の研究報告の概要です。

1. 量子ドット太陽電池とペロブスカイト太陽電池における界面修飾と界面電荷ダイナミクス

丁超 (DING, Chao)、電気通信大学

現在ますます深刻になってきた環境問題とエネルギー問題を解決するために、無尽蔵で再生可能エネルギー源である太陽光の活用が強く望まれている。しかし、太陽エネルギーは大きな可能性があるにも関わらず、現在ごくわずかししか利用されていない。その原因は、太陽電池の作製コストがまだ高く、かつ変換効率が十分には高くないことにある。最近、コロイド量子ドット太陽電池とペロブスカイト太陽電池は安価な溶液法で作製可能であることと理論変換効率は高いため、安価・高効率な次世代太陽電池として注目されている。しかし、これらの次世代太陽電池を実用化させるためには、さらなる高効率化と安定化の向上とそれらのメカニズムの解明に関する基礎研究は重要かつ不可欠である。特にこれらの太陽電池の各界面における①界面エンジニアリングと②界面電荷移動ダイナミクスおよび③これらの界面制御と電荷移動電荷ダイナミクスと太陽電池の光電変換特性および安定化との関連を明らかにすることは鍵となる。

そこで本研究では、PbS コロイド量子ドット太陽電池とペロブスカイト太陽電池を作製し、各界面に対して異なる界面エンジニアリングを行い、変換効率の向上と安定化の向上に成功した。さらに、過渡吸収分光法と開放電圧の過渡応答測定法などを用

いて、界面電荷移動(電荷分離と再結合)ダイナミクスを解明し、界面エンジニアリングによるこれらの電荷移動ダイナミクスの変化と効率向上との関連性を明らかにした。具体的に以下の 3 つの内容である。

(1) PbS 量子ドット光吸収層のエネルギーレベルアライメント (energy level alignment) による電荷分離の向上と電荷再結合の抑制について研究を行った。PbS 量子ドット太陽電池のデバイス構造は透明電極(FTO)/TiO₂/PbS 量子ドット層/Au 電極である。PbS 量子ドット層については、異なる粒径の 4 種類の PbS 量子ドット (M: 3.6 nm; S1: 3.3 nm; S2: 2.9 nm; S3: 2.6 nm) を用いて、PbS 量子ドット層/Au 電極の界面におけるエネルギーレベルアライメントを行った。具体的に、以下の 4 種類の PbS 量子ドット光吸収層 ((I) M-PbS 量子ドット (~300 nm thick); (II) M-PbS (~260 nm) + S2-PbS (~40 nm); (III) M-PbS (~220 nm) + S1-PbS (~40 nm) + S2-PbS (~40 nm) と (IV) M-PbS (~180 nm) + S1-PbS (~40 nm) + S2-PbS (~40 nm) + S3-PbS (~40 nm)) を用いて太陽電池を作製した。

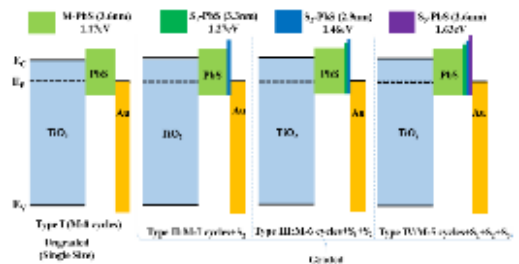


図 1. PbS 量子ドット層/Au 電極の界面におけるエネルギーレベルアライメントの様式図

これらの PbS 量子ドット光吸収層の違いによる PbS 量子ドット層の光吸収スペクトルの変化、PbS 量子ドット/Au 界面でのエネルギー準位の変化、太陽電池の光電変換特性の変化について詳しく調べた。さらに、

レーザー分光測定によりこれらの PbS 量子ドット太陽電池における電荷分離と電荷再結合過程は PbS 量子ドット層のエネルギーレベルアライメントに強く依存することを明らかにした。その結果、最適な PbS 量子ドット光吸収層構造 (構造 III) により電荷分離の向上と再結合の抑制が実現できた。これらの結果により、適切な量子ドット層のエネルギーレベルアライメントを確立できれば、さらなる高効率化である PbS 量子ドット太陽電池の構築ができることが判明した。また、これらの PbS 量子ドット太陽電池は空气中で 150 日以上保存しても安定であることを実証した。

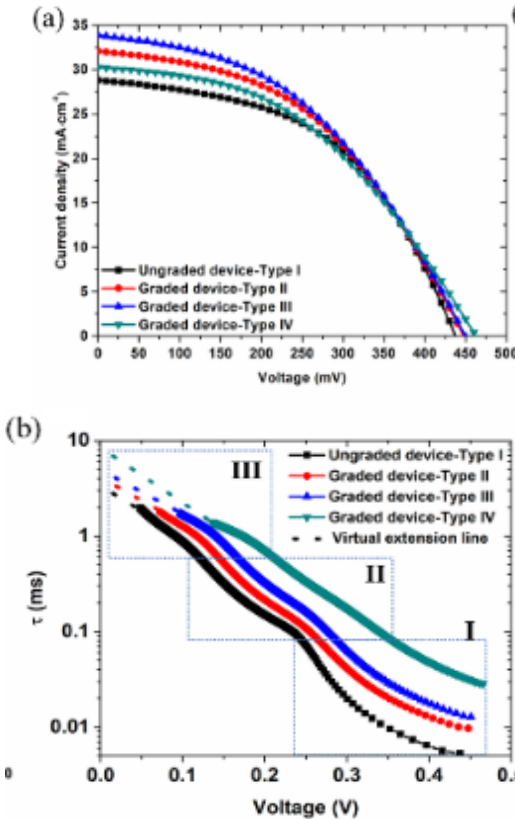


図2. PbS 量子ドット太陽電池における電子阻止層としての異なる ELA 構造の存在下での (a) 電流 - 電圧特性と (b) 有効キャリア寿命。

(2) PbS 量子ドット太陽電池の界面制御による界面電荷移動ダイナミクスの変化と高効率化について研究を行った。本研究では、PbS 量子ドット太陽電池の透明電極

(FTO) と PbS 量子ドット層の間での電子輸送層におけるエネルギー準位と光・電子物性の制御を行った。溶液法により ZnO に Mg をドーピングすることで $Zn_{1-x}Mg_xO$ ($x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) の電子輸送層を形成した。x の増加に伴い、 $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜の光吸収特性、発光特性、電子物性、エネルギー準位が顕著に変化することが分かった。

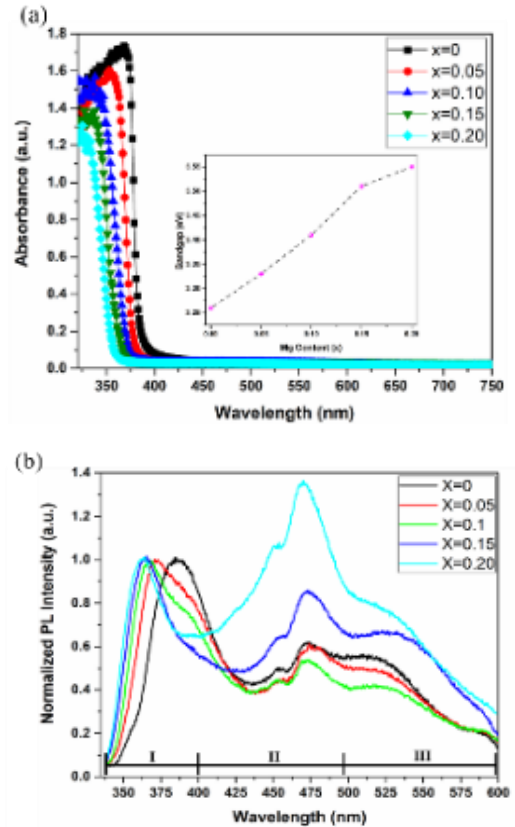


図3. $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜の (a) 光吸収スペクトルと (b) 室温 PL スペクトル ($x = 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$)。図(a)のインサートは、Mg ドープによる $Zn_{1-x}Mg_xO$ フィルムのバンドギャップの増加を示す。

$Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜を電子輸送層とする PbS 量子ドット太陽電池の光電変換特性は x に強く依存して変化することを見出した。特に、最適な x である $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜 ($x=0.1$) が存在するが判明した。それを用いた場合には、太陽電池の開放電圧と短絡電流の向上に伴い、エネルギー変換効率は 10.6% に達成できた。そのメカニズムを解明するために、開放電圧の時間応答と過渡吸収スペクトル

の測定を行った。その結果より、 $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜/PbS 量子ドットの界面における conduction band offset (CBO) によるバンド構造の変化と $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜の電子物性の変化が電荷再結合と光電変換特性に強く影響することを明らかになった。

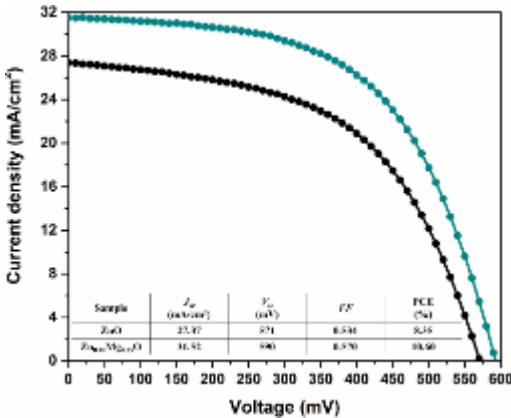


図 4. AM 1.5G 照明下で最も性能の良い量子ドット太陽電池の電流 - 電圧特性。

(3) ペロブスカイト太陽電池の界面制御による電荷再結合の抑制と高効率化について研究を行った。ペロブスカイト太陽電池は最近の 5 年間で大変注目され、盛んに研究されている。ペロブスカイト太陽電池の各界面の制御はさらなる高効率化と安定化の鍵の一つである。そこで本研究では、上記の (2) で研究していた $Zn_{1-x}Mg_xO$ ($x = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) の電子輸送層をペロブスカイト太陽電池に適用し、界面電荷再結合と光電変換特性への影響について検討した。

その結果、量子ドット太陽電池と同じく、ペロブスカイト層と電子輸送層 $Zn_{1-x}Mg_xO$ の界面における電荷再結合と光電変換特性は x に強く依存することを見出した。その中で、 $Zn_{0.9}Mg_{0.1}O$ 電子輸送層を用いた場合は、ペロブスカイト太陽電池の変換効率は 15.6% に達成し、 ZnO 電子輸送層を用いた場合 (11.2%) より著しく向上したことが分かった。その原因は $Zn_{0.9}Mg_{0.1}O$ 電子輸送層により界面での再結合が抑制されたためである。

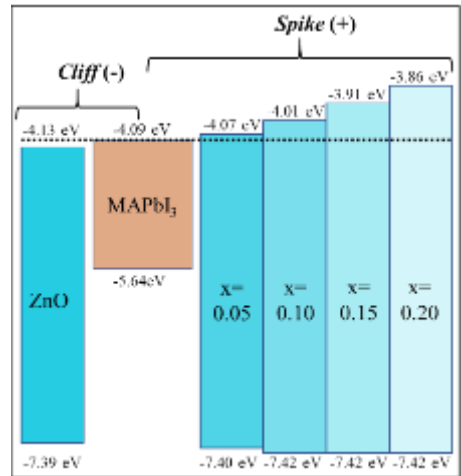


図 5. $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜 ($x = 0 \sim 0.20$) と $MAPbI_3$ 膜 (価電子帯) の (真空準位に対する) エネルギー準位の実験的に決定された図。最大 (VBM) と最小伝導帯 (CBM) は eV で表される。

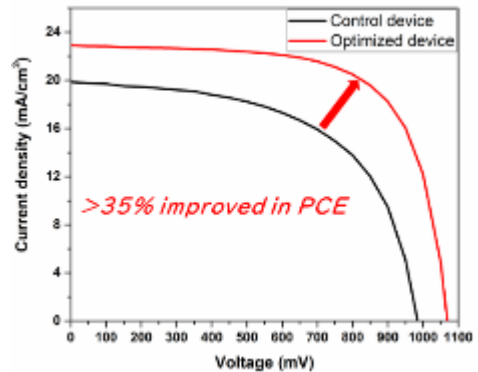


図 6. AM 1.5G 照明下で最も性能の良いペロブスカイト太陽電池の電流 - 電圧特性。

以上の 3 つの研究内容の結果より、今後量子ドット太陽電池とペロブスカイト太陽電池のさらなる高効率化と安定化の実現に重要な知見を与えることが明らかになった。

2. 燃料被覆管表面における自己修復機能の発現

段振剛 (DUAN, Zhengang)

東北大学 博士課程 (2015. 9 ~ 2018. 9)

原子炉の炉心には燃料集合体が装荷され、集合体は炉型に応じて百 ~ 数百本の燃料棒で構成されます。燃料被覆管は燃料を内包

し、冷却材（水）との境界を形成し、放射性物質を閉じ込めるという重要な役割を担っています。現在の被覆管はジルコニウム合金からなり、国の認可の範囲で健全に運用されます。

しかし福島事故では被覆管の酸化に伴う正のサーマルフィードバックのため炉心の溶融に至りました。これを受けて事故時の安全裕度の高い燃料被覆管（事故耐性燃料；ATF）の開発が現在各国で進められています。

図1に示すように、事故耐性燃料の概念としては、現行材料と比較して耐食性が向上していること、中性子経済性、高温強度、熱伝導性が高いこと等が求められ、さらに製造性や経済性に優れていることが望ましいとされています。現在、世界では、以下の二種類の事故耐性燃料開発の流れがあります。一つは被覆管の表面への被膜施工による改質です。この場合、現在の設計に変更がほとんどありませんので、早期に実現可能とされています。もう一つは現行材料の代替で、新材料の開発です。この方法はコストが高く、実現には長期間を要すると考えられています。本研究では一番目の方法を選択しました。さらに、出来るだけ炉内に存在する物質を用い、通常時には効率、安全に影響が無く、腐食と水素化が抑制され、被覆に傷や割れが生じた場合には、炉内に存在する物質と被膜により自己修復するという機能が期待される材料を選定することとしました。

このアイデアに基づいて、この自己修復のモデルを提案しました（図2）。被膜は外層と内層を含む二重保護膜です。外層は通常には内層と基材を保護します。候補材料はFe₂O₃、Cr₂O₃、Al₂O₃、ZrO₂です。内層は割れや傷が生じた場合に冷却水における物質と反応します。それによる生成物を用い、割れや傷を修復する。予定材料はMoO₃です。修復プロセスは以下の通りです。図2では上方に冷却水としています。この中に炉内構成物の腐食生成物が浮遊しています。次は被膜です。

はじめに

事故耐性燃料(ATF)に求められる性能:

- 耐食性(水素発生量低減)
- 中性子経済性
- 高温強度、熱伝導性
- 製造性

事故耐性材に求められる取り組み

- 被覆管表面を改質した被膜を開発する
- 新しいATF候補材料を開発する

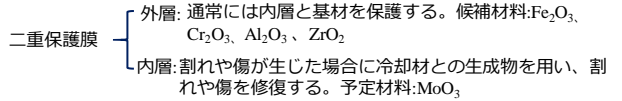
目的及びアイデア

- 早期に実現可能とするため、Zr基の可能性を探索
- 出来るだけ、炉内に存在する物質を用い、通常時には効率、安全に影響が無く、被覆管の腐食と水素化を抑制する材料の開発
- 被膜に傷や割れが生じた場合には、炉内に存在する物質と被膜により自己修復できるのではないか

図1. 事故耐性燃料と研究アイデア

自己修復機能の提案

被膜の構成



自己修復プロセス:

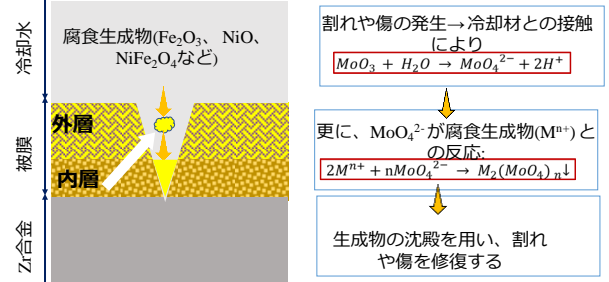


図2. 自己修復機能のアイデア

外層候補材料の化学的物理的安定性に対する評価

実験手順

実験材料: Fe₂O₃、Cr₂O₃、Al₂O₃、ZrO₂の純粉末及びMoO₃を重量比1:1で混合。

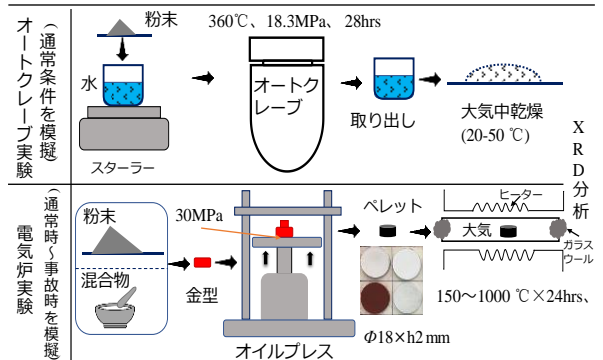


図3. 実験方法

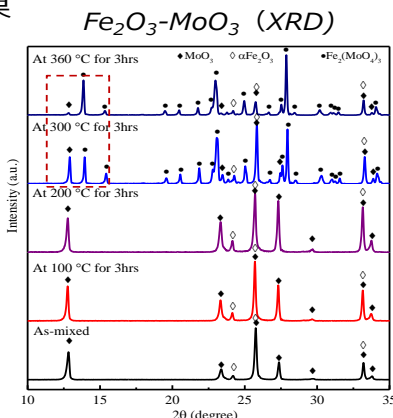
冷却水の側は被膜の外層、ジルコニウム合金の側は内層です。もし、割れや傷が生じれば、冷却水との接触により MoO_3 が水と化学反応し、生成された金属イオンが冷却水における腐食生成物と反応します。その生成物の沈殿を用いて割れや傷を修復するというアイデアです。

図 3 に実験の概略を示します。外層候補材料の化学的・物理的安定性に対する評価を行いました。試料としては Fe_2O_3 、 Cr_2O_3 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 の純粉末、及びこれら各々と MoO_3 を重量比 1:1 で混ぜた混合物としました。粉末を水と混合させオートクレーブにて温度 360°C にて 28 時間保持し、冷却後に取り出しました。大気中で乾燥後に粉末を X 線回折 (XRD) によって分析しました。また、電気炉実験により通常時～事故時を模擬しました。粉末を金型に入れ、プレスしてペレット形状に成形し試料としました。これを電気炉にて温度 $150\sim 1000^\circ\text{C}$ にて、24 時間保持し、冷却後に XRD 分析しました。

実験結果を図 4 に示します。左はオートクレーブ実験結果、右は電気炉実験結果です。「無」の表記は化学反応や相変化が起らなかったという意味です。通常時模擬条件では、 Al_2O_3 はペーサイト相に転移し不安定と判断されました。また、 Fe_2O_3 と MoO_3 の反応が確認されました。これ以外の材料は安定であることが分かりました。

自己修復反応の温度依存性

□ 結果



□ 結論:

- $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{MoO}_3 \xrightarrow{200^\circ\text{C}} \text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$
- Fe_2O_3 と MoO_3 の反応は 200°C より高温で生じた

図 5. 自己修復機能の温度依存性

外層候補材料の化学的・物理的安定性に対する評価

□ 実験結果

(試料の化学反応または相変化)

化学物質	オートクレーブ実験 (360°C) (通常条件を模擬)	電気炉実験 ($150\sim 1000^\circ\text{C}$) (通常時～事故時を模擬)
Fe_2O_3	無し	無し
Al_2O_3	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \gamma\text{-AlOOH}$	$\gamma \xrightarrow{900^\circ\text{C}} \alpha + \theta \xrightarrow{1000^\circ\text{C}} \alpha$
Cr_2O_3	無し	無し
ZrO_2	無し	$t\text{ZrO}_2 \xrightarrow{900^\circ\text{C}} m\text{ZrO}_2$
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MoO}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{MoO}_3 \xrightarrow{360^\circ\text{C}} \text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{MoO}_3 \xrightarrow{650^\circ\text{C}} \text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MoO}_3$	無し	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{MoO}_3 \xrightarrow{650^\circ\text{C}} \text{Al}_2(\text{MoO}_4)_3$
$\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{MoO}_3$	無し	$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{MoO}_3 \xrightarrow{650^\circ\text{C}} \text{Cr}_2(\text{MoO}_4)_3$
$\text{ZrO}_2 + \text{MoO}_3$	無し	$\text{ZrO}_2 + \text{MoO}_3 \xrightarrow{650^\circ\text{C}} \text{Zr}(\text{MoO}_4)_2$

□ 結論:

▶ 通常時模擬条件では:

- Al_2O_3 は不安定
- Fe_2O_3 と MoO_3 の反応が生じる
- これ以外の材料は安定

▶ 通常時及び事故時模擬条件の結果から:

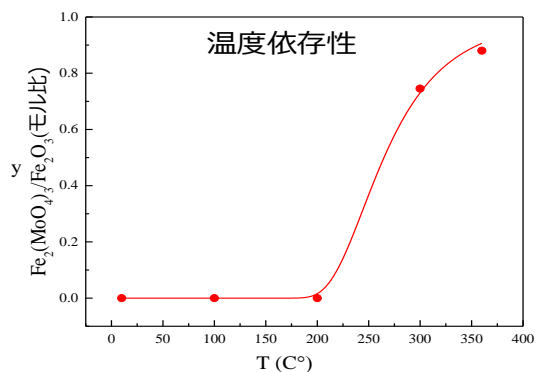
- Cr_2O_3 は外層材に適する
- 特に、 Cr_2O_3 は事故条件で MoO_3 と反応する為、修復機能が期待できる

図 4. 候補材料の熱的安定性

通常時及び事故時模擬条件の結果から Cr_2O_3 と ZrO_2 は外層材に適すると判断されました。特に、 Cr_2O_3 は事故条件で MoO_3 と反応する為、修復機能が期待できます。

次にこれらの自己修復反応の定量化を行いました。試料は Fe_2O_3 粉末と MoO_3 粉末をモル比 2:3 の混合物です。 Fe_2O_3 は原子炉の炉水における主要な腐食生成物であることから選択しました。また 2:3 で混合することで、この反応が完了すると 1 mol のモリブデン酸化鉄が形成され、1 mol の Fe_2O_3

モル比 $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ の温度依存性



が残るため定量化に適するからです。オートクレーブ実験により反応速度を評価しました。温度依存性は 10~360°C で 3 時間保持、また反応速度は 360°C で 0.5~12h 保持して評価しました。取り出し後、大気中乾燥させた試料を XRD 分析した結果を図 5 および 6 に示します。得られたデータを RIR 法によって定量化しました。これは被検成分と α - Al_2O_3 を等量混合した試料の最強線の積分強度比を検量して求める手法です。これにより重量比とモル比を求めました。

自己修復反応の温度依存性を図 5 に示します。反応温度の異なる Fe_2O_3 - MoO_3 粉末の XRD 曲線を示します。RIR 法によって、モリブデン酸化鉄と Fe_2O_3 のモル比の温度依存性を得ました。この反応が水中で 200 度ぐらいから始まることがわかりました。

図 6 に反応速度評価の結果を示します。RIR 法によって XRD の結果から生成量を定量化し反応時間の関数として示します。反応方程式と係数フィッティングから図中の関数と反応速度を得ました。反応の初期段階で速やかな反応が生じることがわかりました。これより、自己修復性を十分に期待できる反応であると判断されます。

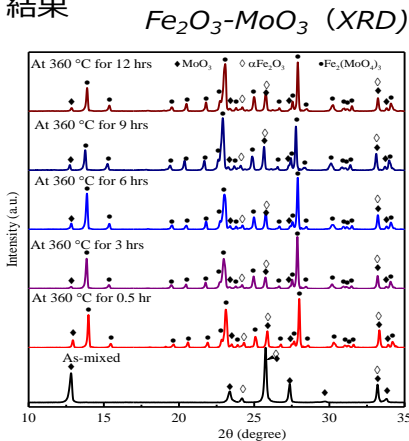
本研究では、その他の自己修復反応についても調査しました。NiO は冷却水に存在する腐食生成物、 FeOOH 、 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ と $\text{Zr}(\text{OH})_4$ はそれぞれ Fe_2O_3 、 Cr_2O_3 と ZrO_2 の前駆体です。また、酢酸亜鉛は PWR と BWR の炉内に存在します。もし、これらが MoO_3 と反応できれば、修復には補助できます。実験により、360°C にて水中発生できる化学反応式をまとめることができました。

最後に皮膜と被覆管の熱膨張を計算して熱膨張について考察しました。熱膨張時には被覆管表面と皮膜内層、および皮膜内層と皮膜外層の機械的作用が起こります。皮膜の破壊を防止するためには、これらの圧縮または引張ひずみは材料の破断ひずみよりも小さい必要があります。検討の結果、内層の組成を Cr_2O_3 - MoO_3 (Cr_2O_3 約 75%) とし、外層を Cr_2O_3 とするアイデアが得られました。

本研究では事故耐性燃料用二重皮膜の概念を提案し、候補材料を決定しました。自己修復反応は Fe_2O_3 - MoO_3 を主とします。皮膜の作製方法の候補は溶射法またはゾルゲル法になると考えられます。

自己修復反応速度

□ 結果



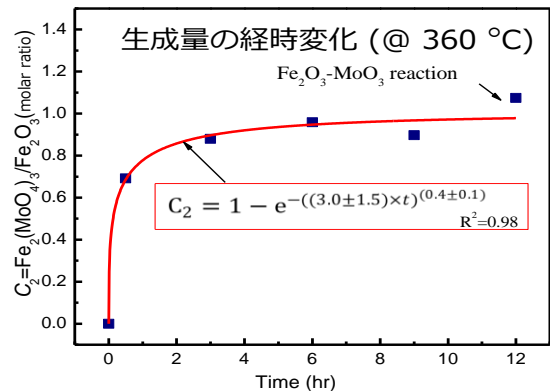
□ 結論:

• C : $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ モル比

• 反応速度 : $R = dc/dt$

• 最初($t \rightarrow 0$ hr), 反応速度が速い $R \rightarrow \infty$.

モル比($\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$)の経時変化



$$C = 1 - e^{-((3.0 \pm 1.5) \times t)^{(0.4 \pm 0.1)}}$$

$$R = (0.6 \pm 0.8) \cdot t^{(-0.6 \pm 0.1)} \cdot e^{-(1.6 \pm 1.6) \cdot t^{(0.4 \pm 0.1)}}$$

図 6 . 自己修復速度の評価

3. マルチ衛星データに基づく乾燥地における土地利用／被覆変化のモニタリングと解析：中国北西部カシュガル地域を事例として

AYISULITAN MAIMAITIAILI、千葉大学

地域ベースのケーススタディは、土地システム科学界のグローバルランドプロジェクト (GLP) の重要な要素です。個々のケーススタディをよりよく明確化し、ケーススタディ間で一般的なパターンを識別するために、複合的な視点からみた多くの研究が実施されます。グローバル研究を定量化、マッピング、および原因を理解・公表するケーススタディは、ケーススタディ全体にわたる地域による地理的な違いとグローバルな知識とのギャップを評価することができます。ケーススタディは、遠い地域間の社会環境システム間において現在理解されているフィードバックの概念を提供しています。また世界中で同様の地理的条件および似た環境を持つ人々にとって価値があります。したがって、本研究ではケーススタディとしてカシュガル地域を選択しました。この研究はカシュガルの持続可能性と経済発展において重要な役割を果たしています。カシュガルは中央アジアの乾燥地域における典型的な山岳沖積平野 - オアシス - 砂漠の生態系であり、この地域は中国の新疆ウイグル自治区で最大のオアシスの一つです (図 1)。乾燥地域の中のオアシスであるカシュガルは、生態学的景観のひとつであり、人命と農業生産のための主要な場所です。しかし、オアシスの生態系は破壊されやすく環境の変化に敏感であり、水は環境や社会経済の発展を左右する大きな要因です。土地利用と土地被覆変化 (LUCC) の原因とその乾燥地域の水資源への影響を理解することは、環境悪化と天然資源の損失を改善または防止するための管理戦略の開発にとって重要です。さらに、カシュガル地域は重要な綿花と穀物の産地です。この研究の主な目的は、(1) 1972 年から 2014 年までの LUCC の時空間変動の検出、定量化、マッピング; (2) LUCC とその社会的および自然的要因との間の相互関係の理解; (3) LUCC が水資源に与える影響を明らかにすることとしました。

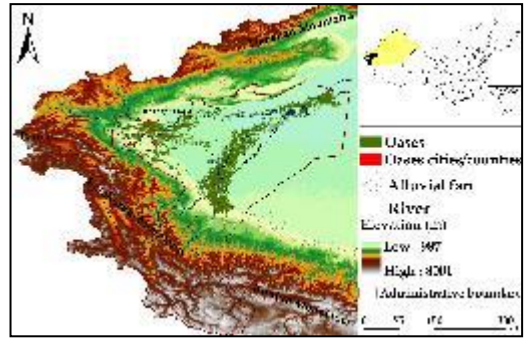


図 1 研究対象地域

結果は、過去 42 年間に起きたカシュガル地域の LUCC は重要であることを示しました。耕作地と都市域は、最も大きな変化が認められた土地被覆 (LC) であり、2014 年の 1972 年からそれぞれ 3.6% から 10.2%、0.4% から 3% に増加しました (図 2)。土地利用変化における解析結果によると、草地と森林地帯は耕作地に取って代わりました。

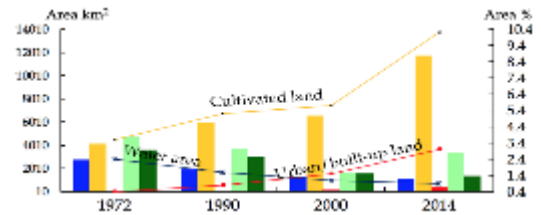


図 2 土地被覆図における各クラスの定量結果

この研究の重要な知見は、1972 年に、存在していたオアシス周辺に拡大していた耕作地が、1990 年から主にカシュガルとヤカン川の中央部にまで拡大したことを示したことです。2000 年から 2014 年にかけて、土地利用の変化は新しい特徴を示し、耕作地は沖積扇状地に沿って拡大し、そこで水資源を利用するようになりました (図 3)。山々に囲まれたカシュガル地域、これらの山の前線は沖積扇状地に分布しています。沖積扇状地は、一般的なカシュガル地域の重要な地下水源です。このような地域は農地拡張のために有利な条件を持っています。この研究の結果は、カシュガル地域の地理的特性が LUCC を決定していることを示しています。

農地面積は 1972 年から 2014 年にかけて 2 倍以上に増えたことが示されました。1972 年から 2014 年にかけてカシュガル地域の耕作地が増加したことは非常に注目に値します。

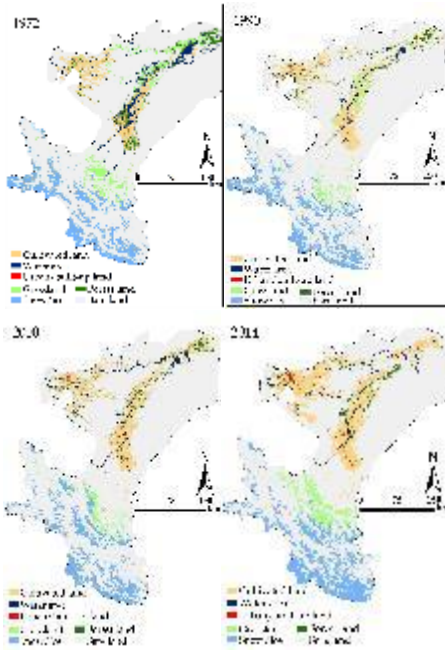


図3 対象地における土地被覆変化マップ
(1972年、1990年、2000年、2014年)

この理由の一つは、膨大な人口増加とそれに関連した農業労働力増加の相互作用の結果です。人口増加は、1988年の2,745,362人から2014年の4,683,114人へと、対象期間中に2倍に増加しました。農業人口は全人口の78%を占めています。農業における雇用は依然として90%の高水準でした。人口の増加だけでなく、生計のために農業に依存している78%の人々の数も、農地に強い影響を与えています。その結果、一人当たりの耕作地は増加し、農業人口は穀物余剰の増加をもたらしました。穀物生産は現地消費を上回っています。カシュガル地域の穀物生産は、1989年の1人当たり392 kgから2016年の1人当たり660 kgまで増加しました(1人当たりの政府基準は500 kg)(図4)。農業生産は急速に増加している人口を十分に支えています。

その結果、穀物生産は食用作物から商業用作物へと変化しました。世界の綿花消費量と綿花価格の上昇により、新疆ウイグル自治区(XUAR)の物理的条件は豊富な放射線と熱源を持ち、綿花生産に適しているため、中国中央政府はXUARへの綿花栽培地の建設を指定しました。その結果、綿栽培の収益性が高まり、より多くの土地の開拓が行われました。

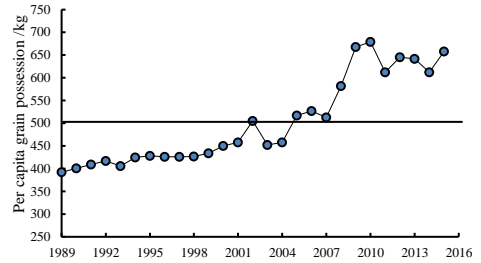


図4 一人当たりにおける穀物生産量の変化

その結果、カシュガル地域の土地利用の変化は、テレカップリング(遠距離間における人間と環境システム間の社会経済的および環境的相互作用)の世界規模の供給の一部である綿製品の需要によってますます増大しています。XUARの主要な綿花生産地となったカシュガル地域の綿花生産地は、このテレカップリングプロセスの強化により、XUARの生産地の43%を占めました(図5)。



図5 中国における綿花生産地域の地理的分布

しかし、特殊な地理的位置に位置し、比較的輸送経路が少ないカシュガル地域は、農産物の流通と輸出の点で有利とは言えません。高速道路と鉄道がなければ、カシュガルの農産物はスムーズに地域外に出荷することができず、物流コストは依然として高いままです。また、繊維産業は主に中国の沿岸地域に分布しています。2000年以来、穀物生産の黒字が発生していました。中央政府が、カシュガルの交通ネットワークを改善するために投資を行ったため、鉄道と高速道路は舗装されました。農産物輸送の市場機会を広げるためにカシュガルの鉄道網と高速道路網を

増やし、それらが地域の農業貿易に最適な供給網を提供しました。遠距離へのテレカップリングの増加とそれらの地域の社会経済的および環境的相互作用と世界規模に拡大する綿花市場は、カシュガル地域の土地利用変化に影響を与えています。これらのテレカップリングプロセスは、農地の拡大をさらに促進しました。

中国の急速な経済発展は、中国の消費者の消費パターンと食生活の変化をもたらしました。外部からの需要の増加と綿花、その他の作物との間の適切なバランスを維持するために、政府はカシュガルの各郡の状況を考慮して農業生産における戦略的調整を行うことを決定しました。一方、カシュガルから中国都心部への鉄道と高速道路ネットワークの拡大（西から東への接続）は、市場へのアクセスを容易にし、テレカップリングによってカシュガル地域と外部との繋がりを強化しました。その結果、野菜とメロンの耕作面積が増加しました（図 6）。

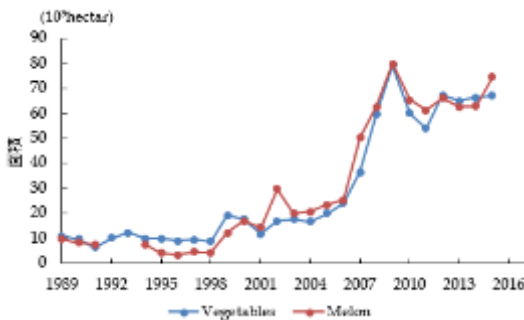


図 6 耕作地面積の変化（野菜とメロン）

しかし、中国の高い経済成長においては、そこに占める農業の割合は低い傾向にあります。そこで政府は、世界貿易機関（WTO）の規則の範囲内で、農地拡大に対する補助金ベースの支援を実施しました。中国の農業支援は、WTO の加盟国となった後、新たなプログラムを導入しました。支援は主に農業生産（小麦とトウモロコシ）に集中しています。すべての地域の農家へ補助金が支払われたことで、耕作地面積が増加しました。この農業政策は絶えず耕作地拡大をもたらしました。この研究の結果により、LC マップから、大規模な集約農業における土地利用の変化が明らかになりました。

耕作地の拡大とその空間的分布は、水の消費量を増加させました。農業用水消費の結果は、耕作地の水消費が著しく増加したことを示し、総消費水量の 90% を占めました。河川流出量は、耕作地による継続的な水消費量の増加を支えるのに十分ではありません。したがって、地下水がカシュガル地域の主要な給水源を提供していることが示されました。カシュガル地域の山地前線に沿って沖積扇状地が分布し、それらがカシュガル地域の重要な地下水貯留層として機能しています。カシュガル地域の沖積扇状地地下水は農業拡大に重要な役割を果たしています。

地下水や河川の水は、主に山岳地帯（雪氷による融雪水）から供給されています。また気候要因の解析結果は、1964 年から 2014 年の間に山地の気温と降水量の両方において増加傾向を示しました。積雪面積の解析結果によると、2005 年、2009 年、2012 年（水文年）の積雪面積には大きい年々変動が見られ、季節的な短期的変動が同年の流出量の増加に寄与していました。ただし、降水量は 8.11mm/10 年の割合であり増加傾向ではありませんが、その変化は非常に小さく規則的です。しかし、年間積雪面積は変動しており、15 年間の観測期間中に有意な減少傾向はありませんでした。その上、気温は 0.72°C/10 年の割合で上昇し、特に冬と春の気温は著しく上昇しており、積雪量と積雪面積の変化に影響を与えています。この気温上昇は地球規模の気候変動の結果の一つです。気温の上昇によって降水の中の液体（雨）と固体（雪氷）の比率が変化し、積雪面積は、液体の降水量が増加するにつれて減少します。このプロセスは積雪面積とそれに続く春と夏の河川の流出量に影響を与える可能性があり、春の流出量の増加やピークが起こる季節の変化に繋がる可能性もあります。その結果、夏の積雪の減少により、表面のアルベドははるかに低くなり、氷河の面積の収縮、消失をもたらします。これらの変化は水資源に深刻な影響を及ぼし、水資源の不足や需要と供給の問題をさらに悪化させます。このような自然的な要因の変化は将来的に給水の持続性とオアシスの拡大の減少に繋がることが示唆されます。

第 58 回理事会

日時 2019 年 1 月 31 日

場所 於 協会事務所

審議事項：臨時総会の開催について

1. 有山理事長より当法人の解散を諮るため臨時総会を開催する件が提案され、審議の結果、これを可決した。
2. 精算人として有山理事、永崎理事の 2 名の選任を諮り、了承された。
3. 残余財産の帰属先は特定非営利活動法人水環境技術研究会とすることが了承された。
4. 2019 年 1 月末における収支決算と今後の予算について永崎理事より 2019 年 1 月末における収支決算と清算終了までの予算について報告があり、これを了承した。

第 17 回臨時総会

日時 2019 年 2 月 27 日

場所 東京大学山上会館 1 階第 4 号

社員総数 54 名 出席社員数 42 名

審議事項：当法人の解散、清算人選任及び残余財産帰属先

1. 議長選任
有山正孝理事長が議長に選任された。
2. 議事の経過の概要及び議決の結果
 - (1) 当法人解散の件
満場一致をもって可決決定
 - (2) 清算人選任の件
下記のもので選任された。
清算人 有山正孝
清算人 永崎隆雄
 - (3) 残余財産帰属先の件
下記に決定した。
特定非営利活動法人水環境技術研究会

目次

1. 教えるから学ぶへ 九州大学名誉教授 古屋 廣高	1
2. 2018 年度中国人留学生研究奨励賞授賞式 副理事長 藤崎博也	2
3. 2018 年度中国人留学生研究奨励賞を受賞 して 丁超・段振剛・アイリス メンズ	4
4. 2018 年度中国人留学生研究奨励賞 受賞者の研究報告の概要	7
5. 第 58 回理事会	16
6. 第 17 回 臨時総会	16