

# 日中韓フォーサイト事業 平成19年度 実施報告書

## 1. 拠点機関

日本側拠点機関：	東京大学
中国側拠点機関：	清華大学
韓国側拠点機関：	ソウル国立大学

## 2. 研究交流課題名

(和文)：サブ10nmワイヤ；その新しい物理と化学  
(交流分野：ナノサイエンス)

(英文)：sub-10nm wires；new physics and chemistry  
(交流分野：Nanoscience)

研究交流課題に係るホームページ：<http://www-surface.phys.s.u-tokyo.ac.jp/a3foresight/>

## 3. 開始年度

平成17年度（3年目）

## 4. 交流実施期間（業務委託期間）

平成19年 4月 1日 ～ 平成20年 3月31日

## 5. 実施体制

### 日本側実施組織

拠点機関：東京大学

実施組織代表者（所属部局・職・氏名）：

研究代表者（所属部局・職・氏名）：大学院理学系研究科・准教授・長谷川 修司

協力機関：東京理科大学、理化学研究所、岡山理科大学、物質・材料研究機構、  
名古屋大学、大阪大学、早稲田大学、(株)日立製作所、産業技術総合研究所  
東北大学、青山学院大学

事務組織：東京大学理学系研究科等事務部

### 相手国側実施組織（拠点機関名・協力機関名は、和英併記願います。）

(1) 中国側実施組織

拠点機関：(英文) Tsing-Hua University

(和文) 清華大学

研究代表者 (所属部局・職・氏名) : (英文) Department of Physics・Professor・Qi-Kun XUE

協力機関 : (英文) Peking University、Beijing University of Technology、  
Institute of Physics (The Chinese Academy of Sciences)

(和文) 北京大学、北京工科大学、物理研究所 (中国科学院)

## (2) 韓国側実施組織

拠点機関 : (英文) Seoul National University

(和文) ソウル国立大学

研究代表者 (所属部局・職・氏名) : (英文) Department of Physics・Professor・Young KUK

協力機関 : (英文) Ajou University、Gwangju Institute of Science and Technology、  
Pohang University of Science and Technology、Hanyang University、  
Korea University、Yonsei University、SAIT、  
Cheju National University

(和文) 亜洲大学、光州科学技術院、浦項工科大学、漢陽大学、高麗大学、  
延世大学、サムスン総合技術院、国立済州大学

## 6. 日中韓フォーサイト事業としての全期間を通じた研究交流目標

本計画の目的は、日本・中国・韓国での当該分野の研究者の交流・共同研究を通じ、原子鎖・分子鎖やシリサイドナノワイヤ、カーボンナノチューブなど、さまざまな種類の「サブ 10nm 幅のナノワイヤ」に関し、それらの作成・合成、物理的・化学的特性、および機能化などについて包括的な研究を行うことにある。これら 3 国には、この分野で極めてアクティブな研究を行い、世界をリードしている研究者が多数いるので、それらの研究者が密接に情報交換、研究者・試料の相互交換および共同研究などの交流を促進することにより、さらに実り多い成果が期待でき、この分野での欧米を凌駕した優位的立場を維持することができると考えている。本計画では参加研究者が一同に会するシンポジウムを 3 回計画しており、そこでの相互啓発と議論は研究進展のために極めて貴重な機会となる。本計画では上述のナノワイヤのデバイスへの応用展開など具体的な応用を目指すわけではないが、本計画によって進められる基礎的研究は、そのような応用研究にも極めて重要な知見をもたらすものと信じている。具体的には、下記の形態での研究交流を計画している。また、これらの研究交流活動を通して、日中韓の大学院生を含む若手研究者同士のネットワーク作りを促進し、10年20年後の研究者コミュニティに貴重な財産として残すことを最重要使命と考えている。そのため、若手研究者の参加を積極的にすすめる。

### 1. 全体セミナーの開催

日本 (平成 17 年度)、韓国 (平成 18 年度)、中国 (平成 19 年度) でメンバー全員が参加する全体セミナーを開催し、相互交流をはかり、共同研究の契機を作る。

また、若手研究者の育成のため、サマースクールを開催し、そのテキストを単行本

またはレクチャーノートとして公開する。

2. トピックス別研究集会の開催

研究テーマの近いメンバーが集まり、他の国際会議等のサテライト・ミーティングとして小規模の研究集会を随時開催し、研究交流を促進する。

3. 相互訪問・共同実験の促進

相互訪問・滞在によって、メンバーの研究室の所有する実験機器などを相互に利用し、研究の幅をお互いに広げる。

4. 論文集の発刊

このプログラムでの共同研究・相互交流の成果を論文集または単行本として出版する。

## 7. 平成19年度の研究交流実績の概要

### 7-1 共同研究

平成17、18年度に開始された各グループ間の共同研究を継続・発展させるとともに、新しい組み合わせでのグループ間の共同研究を積極的に進めた。具体的には下記のような共同研究を行った。

- ① 東京大学—ソウル国立大学—清華大学：極低温型走査トンネル顕微鏡・分光法を用いた超伝導原子層についての共同実験を行った。
- ② 東北大学—中国物理研究所・清華大学：カーボンナノチューブの光学的特性について、日本側が理論、中国側が実験の共同研究を行った。
- ③ 名古屋大学—ソウル国立大学：カーボンナノチューブやピーポッドの試料提供および走査トンネル顕微鏡での電子状態の共同研究を継続した。
- ④ 東京大学—高麗大学—清華大学：カーボンナノチューブの角度分解光電子分光測定のために、長尺高配向の試料作成を行い、東京でその測定を行った。
- ⑤ 東京理科大学—北京大學：単一カーボンナノチューブの光物性の研究のため、試料作成・提供および顕微ラマン・発光計測を共同で行った。
- ⑥ 東京大学—延世大学：表面ナノワイヤ構造の電子状態と相転移の研究のため、相互に大学院生などを派遣して共同実験を行った。
- ⑦ 早稲田大学—岡山理科大学—ソウル国立大学：ナノチューブやナノ構造に関する理論的研究を共同で行った。

### 7-2 セミナー

- ① 2007年7月、中国北京において、第3回目の全体セミナーを開催した。第1回セミナーを契機に開始されたそれぞれのグループ間での共同研究の現状と成果を報告し合い、さらに密な共同研究および研究者交流を進めることを目的とした。このようなセミナーを同じメンバーで継続的に行うことは、共同研究の推進と交流にとってきわめて重要で意義深い。本プログラムでは焦点を絞ったテーマで進めているので、それぞれの立場からのコメントや討論がすぐに共同研究や研究発展に結びつくため、密度の濃い討論が行われた。
- ② 全体セミナーに引き続き2007年7月、中国北京において、第2回サマースクールを開催した。大学院生や若手研究者を対象に、ナノサイエンスに関する基礎から先端的内容にわたる教育的セミナーであった。本A3プログラム参加研究者から数人が講師として出講し他、ポーランドからも講師を招待した。このサマースクールにはA3プログラムの補助により、若手研究者が多数参加し、若手レベルでの交流が推進した。今回のような機会は、次世代を担う世代にきわめて意義深いと考えている。また、講義録を現在編集中であり、今年中には単行本として出版する予定である。
- ③ 2007年11月、東京大学生産技術研究所で開催された国際会議 ACSIN-9 において本事業

特別セッションを行った。本プログラムのメンバーが全面的に開催に協力したと同時に、招待講演や一般講演などの研究発表を行った。この ACSIN-9 のテーマが本プログラムのそれに極めて近いこと、緊密な連携が可能となり、3 カ国からの講演者・若手研究者の参加登録費・滞在費負担などの形で協力し、当該分野で求心力のある国際会議となり、A3 プログラムの成果を公開できた。

- ④ACSIN-9 に引き続き 2007 年 11 月、群馬県草津町において、A3 プログラムメンバーのみでのサテライト・シンポジウムを開催した。結晶表面上のナノ構造に関する最新の研究成果を主に若手研究者によって報告し合い、情報交換と交流を進める目的で開催された。3 カ国の講演者や若手研究者の滞在費等を当プログラムで負担して参加者を募り、開催した。本プログラム参加研究者の講演のほかに若手研究者の発表をおりませ、当該分野の今後の研究に非常に有益なシンポジウムとなった。

### 7-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

共同研究を目指した研究者交流を積極的に進めた。平成 18 年度に東京大学大学院理学系研究科に招聘した中国物理研究所の研究者が、平成 19 年度は物性研究所の機関研究者として日本グループのメンバーとともに更なる研究を展開した。また、平成 19 年度に新しく東京大学で立ち上げた光磁気効果測定装置の立ち上げも中国側研究者と協力して行い、平成 20 年度も共同実験を継続する予定である。また、東京大学で学位を取得した研究者が韓国延世大学の Research Professor として平成 18 年度より滞在し、平成 19 年度も引き続き韓国で共同研究を続けた。このように、短期的滞在ではなく、博士研究者レベルの長期的人的交流が実現している。

## 8. 平成19年度の研究交流の成果

(交流を通じての相手国からの貢献及び相手国への貢献を含めて下さい。)

### 8-1 研究協力体制の構築状況

#### (1) 研究者派遣による研究協力体制の構築：

日中韓相互に研究者を派遣して、共同研究を進める具体的な計画を立て、実行に移した。

#### (2) 実験試料の提供による研究協力体制の構築：

高麗大学から東京大学へ実験試料（高品質ダブルウォールカーボンナノチューブ、シングルウォールカーボンナノチューブ、マルチウォールカーボンナノチューブ）が提供され、東京大学での電気伝導および光電子分光の実験に活用された。また、名古屋大学からソウル国立大学にも試料（ピーポッドナノチューブ）が提供され、低温型走査トンネル顕微鏡による計測が行われた。また、東京大学での実験結果の解釈に対して、中国物理研究所で理論的解釈がなされた。さらなる共同研究の促進のため、中国北京での全体会議(2007年7月)において、具体的な共同研究の立案を議論した。また、東北大学が理論的研究、中国科学院が実験的研究を行い、カーボンナノチューブの光学的特性に関する共同研究を行った。

#### (3) サマースクールへの講師派遣：

中国北京で開かれたナノサイエンス関連のサマースクール（2007年7月）に、東京大学物性研究所及び東北大学大学院理学研究科から講師（長田俊人准教授及び齋藤理一郎教授）を派遣した。このサマースクールは若手研究者や大学院生を対象とし、その基礎的な事項を講義すると同時に最先端の研究状況の紹介を行った。また、学生を含む若手研究者間の交流も促進された。

### 8-2 学術面の成果

- (1) 清華大学での表面ナノ磁気計測の経験と東京大学での表面ナノ電気伝導・角度分解光電子分光計測を組み合わせ、表面ナノ磁気抵抗効果の研究を継続して行っている。特に、平成19年度に新しく東京大学で表面光磁気効果測定装置を立ち上げたが、それには、清華大学での培われた経験が大いに役立った。また、特に、シリコン結晶表面上に成長させた鉛とアンチモンの合金超薄膜を形成し、その電子状態を光電子分光法で測定した。その結果、バンドが分裂していることがわかったが、それがラシュバ効果によるスピン・軌道相互作用の結果であるのかどうか、現在、理論計算と比較して検討している。また、インジウムモノレイヤー中に磁性原子であるコバルトを極微量だけ吸着させると、表面電気抵抗の異常が観測された。これは、表面でおこる近藤効果の可能性が高く、現在、中国側研究者とともにメカニズムを検討している。
- (2) 名古屋大学でのナノカーボン試料作成技術とソウル国立大学での極低温型走査トンネル顕微鏡での計測技術を結合し、ナノチューブの太さやピーポッド構造による電子

状態の違いを明らかにする研究を行った。これは、ナノチューブの1次元電子系についての基礎物性の研究として重要であるばかりでなく、ナノチューブデバイスの基礎研究としてもきわめて重要である。

- (3) 東北大学と中国科学院との共同研究により、カーボンナノチューブの光学特性を理論・実験両面から共同研究を進め、論文としてまとめた。
- (4) 高麗大学および北京大学での高品質カーボンナノチューブの作成技術と東京大学での高分解能角度分解光電子分光法および電気伝導による計測技術を結合し、カーボンナノチューブの電子バンド構造の詳細を明らかにできる条件を見出した。つまり、真空中での適温での加熱によってナノチューブ表面を清浄化すると、ナノチューブ本来の電子状態が見えてくることがわかった。

### 8-3 若手研究者養成

- (1) 2007年夏に中国北京において、若手研究者・大学院生のためのナノサイエンス・サマースクールが本プログラムの中国側研究代表者によって主催された。日本側から若手研究者を受講させるのと同時に、日本側の参加研究者（東京大学・長田俊人准教授及び東北大学・齋藤理一郎教授）を講師として派遣した。このサマースクールで知り合いになった若手研究者同士が、2007年秋に草津で再会し、さらに親しくなった。このような若手研究者同士がお互いによく知り合いになることは、10年20年後の研究者ソサイエティのなかで貴重な財産になると期待できる。
- (2) 上記のような若手研究者を対象にしたスクールを毎年1回程度開催し、そのテキストを単行本として出版することを決めた。これは、西欧でよく行われているサマースクールのテキストを単行本としてシリーズ化しているものに匹敵する単行本シリーズをアジアからも出版しようと目論むものである。日中韓には、その執筆が可能な研究者がこの当該分野で多数いる。2006年のサマースクールのレクチャーノートは2007年に韓国の出版社から出版された（別添の表紙写参照）。2007年のスクールのテキストは、現在、講義ビデオから文章に直し、編集しているところである。

### 8-4 社会貢献

- (1) 上記のように、若手研究者および大学院生を対象としたナノサイエンスに関するサマースクールを毎年1回開催すると同時に、そのレクチャーノートを出版公開することで、本プログラムの参加研究室だけでなく、関連する分野の若手研究者の育成のために貢献する。現在、この活動をA3プログラム終了後も継続する可能性について、メンバー間で議論を進めている。
- (2) 2007年11月11日～15日に東京大学生産技術研究所で開催された国際会議「ACSIN-9」

において、本プログラムの特別セッションを行い、本プログラムのメンバーによる招待講演や一般講演等の研究発表を行った。また、中国韓国からの若手研究者も多数招聘し参加させた。日中韓の若手研究者同士のネットワークが構築されつつあり、これはこの分野の5年10年後に貴重な財産となると思われる。また、A3プログラムというシステムが上記国際会議参加者に広く認知されることとなった

#### 8-5 今後の課題・問題点

- (1) 費用負担の仕方：昨年度も述べたが、今年度も同じことを強く感じたので再掲する。研究交流および共同研究のために日本側研究者が中国・韓国を訪問して滞在する場合、渡航費のみを日本側が負担し、先方での滞在費は相手国側が負担することになっている。しかし、このシステムでは、訪問・滞在自体が相手国側の予算を圧迫することになり、日本側研究者が積極的に渡航しなかった理由の一つと考えられる。特に中国では、A3プログラムのファンドが通常の研究ファンドに込みで配分されているので、A3プログラムでの交流経費がかさむと研究経費を圧迫することになるという。より活発な相互交流を促進するためには、この費用負担の仕方を改める必要を感じた。つまり、日本側から相手国を訪問する場合、相手国に滞在費用負担をかけないようにもできるシステムとして欲しい。学振では是非検討して欲しい。
- (2) 若手育成に関して：当プログラムは、若手育成と若手どうしのネットワークの構築を最重要趣旨の一つに挙げている。大学院生を含む若手研究者の間のネットワークが構築されれば、10年20年後の研究者コミュニティの中で貴重な財産となると考えられるので、本プログラムの最も重要な使命は、日中韓での若手研究者間のネットワーク作りとしたい。これは、3年程度で共著論文となる研究成果より、はるかに重要であろう。欧米では、国をまたいで教授同士が若手研究者の時代からお互いによく知っているという場合が多く、そのようなネットワークを若手時代から築いているのが彼らの最大の強みとなっている。アジアでもそのような人的ネットワーク作りを10年20年かけて行うべきと考える。本A3プログラムでは、現在教授になっているメンバーどうしの交流より、大学院生を含む若手研究者どうしのネットワーク作りを重視している。
- (3) サマー（スプリング）スクールのレクチャーノートの出版に関して：前述のように、2006年ソウル国立大学で開催されたサマースクールのレクチャーノートが単行本として韓国の出版社から2007年に出版された。また、2007年に清華大学で行われたサマースクールのレクチャーノートも現在作成中であり、2008年中には中国の出版社から出版する予定である。2008年5月には、東京大学でスプリングスクールを開催する予定だが、そのレクチャーノート出版は日本が責任を持たなければならない。しかし、その出版費用の目処が立っていないので、2008年度予算枠外で、このレクチャーノート出版費用の手当てをお願いしたい。また、このA3プログラム終了後も、このスクール・シリーズを継続して行うという強い希望があり、その開催・出版費用の手当ても検討いただき

たい。

**8－6 本研究交流事業により発表された論文**

平成19年度論文総数 26本

うち、相手国参加研究者との共著 15本

うち、本事業がJSPSの出資によることが明記されているもの 3本

(※ 論文リストを別に添付して下さい)

## 9. 平成19年度における総交流人数・人日数

### 9-1 相手国との交流実績

(単位：人／人日)

派遣先 派遣元		日本	中国	韓国	合計
		日本	実施計画		50/138
	実績		41/226	1/2	42/228
中国	実施計画	14/56		(5/16)	14/56
	実績	15/84		(5/15)	15/84
韓国	実施計画	20/132	(10/30)		20/132
	実績	15/174	(33/132)		15/174
合計	実施計画	34/188	50/138	5/16	89/342
	実績	30/258	41/226	1/2	72/486

※各国別に、研究者交流・共同研究・セミナーにて交流した人数・人日数を記載してください。(なお、記入の仕方の詳細については「記入上の注意」を参考にしてください。)

※日本側予算によらない交流(中国—韓国間の交流)についても、カッコ書きで記入してください。(合計欄は( )をのぞいた人・日数としてください。)

### 9-2 国内での交流実績

実施計画	実績
34/122 (人／人日)	22/95 (人／人日)