

(様式 7)

採用年度	平成 23 年度
種別	国際戦略型

先端研究拠点事業
平成 27 年度 事業実績報告書 (最終年度用)

平成 28 年 3 月 31 日

採用番号	23003
領域	医歯薬学
分科	内科系臨床医学
細目	放射線科学
分科細目コード	8216
研究交流課題名 (和文)	医学物理研究教育拠点の形成
研究交流課題名 (英文)	Forming research and educational hubs of medical physics
採用期間	平成 23 年 4 月 1 日 ~ 平成 28 年 3 月 31 日 (60 ヶ月)

《実施組織体制》

日本側

拠点機関名	大阪大学
実施組織代表者 (所属・職・氏名)	学長・西尾章治郎
コーディネーター (所属・職・氏名)	大学院医学系研究科・教授・小泉雅彦
協力機関数	6
参加者数	100

相手国 1

国名	米国
拠点機関名	インディアナ大学
コーディネーター (所属・職・氏名)	医学部・教授・Indra J DAS
協力機関数	4
参加者数	14

相手国 2

国名	オランダ
拠点機関名	Groningen 大学
コーディネーター (所属・職・氏名)	原子核研究所・教授・Sytze BRANDENBURG
協力機関数	2
参加者数	18

(様式7)

1. 交流目標の達成状況

目標の達成状況を、A～Eのそれぞれの観点から、ポイントを絞って記載すること。

A 学術的な成果 B 持続的な協力関係の基盤構築 C 若手研究者育成における成果

D 国際的学術情報の収集整備 E 事業の波及効果

1-1 平成27年度研究交流目標の達成状況

① 平成27年度事業計画における達成目標

A. 学術的な成果：

最終年度ではあるが、6つの主テーマ(1. 次世代粒子線治療装置開発、2. 粒子線シミュレーション研究、3. 次世代診断法・装置の開発、4. 適応放射線治療・画像誘導放射線治療、呼吸性移動を有する腫瘍に対する放射線治療に関する研究、5. がん情報システムの開発、6. 粒子線生物効果研究)について収束させることなく、さらに広げるべく共同研究課題を探索し、推進していく。

B. 持続的な協力関係の基盤構築：

シンポジウムを開催し、研究の現状を発表したり、今後の共同研究の方針について相手国コーディネーターと議論する。

C. 若手研究者育成における成果：

相手国の研究者を招へいし、最先端の放射線治療、医学物理学に関するセミナーを行って、若手研究者、学生、医学物理士、医師の国際的教育を図る。

D. 国際的学術情報の収集整備：

医学物理・生物学国際会議、米国医学物理学会、米国放射線腫瘍学会、粒子線治療国際会議に参加し、最先端の研究動向の調査を行う。

E. 事業の波及効果：

本事業において派遣された若手教員、学生、医学物理士、医師は、その成果を国内における学会等で発表する。海外の研究の現状や動向を知らしめることができる。

② 平成27年度事業計画の達成状況 ※成果の公表状況は、別紙1論文リストにて作成のこと。

A. 学術的な成果：

これまでに掲げていた研究テーマにとらわれず、幅広いサブテーマに取り組んだ。臨床的な内容から粒子線治療におけるマイクロビームや粒子線ラジオグラフィーの基礎研究まで多岐にわたった。これまでの研究成果をまとめ、複数の論文を投稿した。

主なものとしては、2016年米国放射線腫瘍学会にインディアナ大学にて大阪府立成人病センター技術吏員の上田(No. 45)を指導した Dr. Das が乳腺における心臓の線量予測として演題登録した。本テーマに関しても論文を作成中である。生物学部門へは本学特任助教皆巳(No. 18)が昨年度に引き続き派遣され、骨代謝・放射線生物分野で複数の研究課題に対し取り組んだ。1つ目の課題では、乳がんにおいて、殺細胞効果のみならず骨の強度を向上させ骨転移も防ぐ新規抗がん剤の開発に成功し、論文投稿した。2つ目の課題では、血中カルシウム濃度の増加によりPTHが産出される機構について、その逆の反応(血中カルシウムが減少)であってもPTHが産出されるという新たな機構の発見により、論文投稿まで行った。3つ目の課題では、Eukaryotic translation initiation factor 2a(eIF2a)のリン酸化を亢進させ骨芽細胞の働きを活性化させる薬剤 Saluburinal の新たな標的遺伝子として Protein-tyrosine phosphatase 1b(PTP1b)の存在を明らかにした。その他、がん細胞の硬度によりがん転移能性細胞を選り分けるシステムの開発や骨転移後の癌細胞の運動性が減少するという現象の発見など2つの課題に対して、インディアナ大学の大学院生の研究指導を行うなどした。

グロニンゲン大学では、放射線治療後の有害事象予測モデルの構築において先進的な研究を多数行っており、その研究指導を受け、これまで本邦では稀少であった頭頸部癌高精度放射線治療(強度変調放射線治療)後の甲状腺機能低下症予測モデルを確立した。また、モンテカルロ4次元線量計算システムの構築を行い、精度検証を実施した。そして、先方の臨床症例を用いて、肺癌定位放射線治療における呼吸性移動の線量的影響を評価した。少ない症例数であったが呼吸性移動の線量的影響はほとんどないことがわかった。目に見えない放射線を安全に患者に投与するには、高精度な治療前検証が必要となる。最も精確な線量計算法であるモンテカルロ法を使用し、最新のAgility MLCが搭載された放射線治療装置をシミュレーション上で構築し、治療前検証法を確立した。これらに関しても、今後国際学会での発

表、論文発表を予定している。

B. 持続的な協力関係の基盤構築：

米国においてシンポジウムを開催し、米国側コーディネーターと共同研究の現状や今後の方針について議論した。インディアナ大学医学物理部門および生物工学部、ミネソタ大学医学物理部との間に共同研究体制が構築でき、継続的な研究を持続できた。具体的には、派遣された学生、研究者を通じて、帰国後もさらなる研究データの解析、研究論文の作成を継続する体制を維持できている。生物実験を主体とする研究では、月 2 回程度、Skype を通じた共同研究に関する詳細な実験プラン検討会を継続させている。海外の研究動向についての詳細な情報提供や、本事業終了後も、学生ならびに研究員を常時受け入れることについての了承を得るなど、密接な関係を築けている。

オランダでは、 Groningen 大学放射線治療部門（放射線腫瘍学、医学物理）および核物理研究部門との共同研究体制が構築できた。若手研究者の留学に対し、非常に協力的で日本の放射線治療にも興味を持ってもらい、日蘭の臨床成績の比較といった、共同研究ならではの研究テーマを設定でき、JSPS 終了後も繋がる持続的な研究を行えている。

人材育成面でも相手国拠点機関の研究者は、医学物理士養成に関するノウハウの提供にも協力的であり、e-mail での情報提供など、教育に関する連携も継続的に図れる体制が構築できた。

C. 若手研究者育成における成果：

米国の陽子線治療施設の研究者を招へいし、最先端の放射線治療、医学物理学に関するセミナーを行った。また、若手研究者、学生 9 名を相手国拠点機関インディアナ大学、Groningen 大学を初め、協力機関に延べ 33 ヶ月間派遣し、研究活動を行わせた。担当する共同研究の推進や、医学物理先進国における臨床トレーニングを経験させた。

Groningen 大学では、若手研究者は放射線治療の診療やカンファレンスに参加して、オランダの放射線治療の現状を知ることができ、有意義であった。論文等の文献を読むだけでは得られない、留学してみて初めて分かる日本とオランダの放射線治療の違いなど有益な情報が多々得られ、今後の研究テーマとなりうる題材も発見できた。今後の研究活動および、さらには日々の患者さんへの治療に生かすことができる。

欧米における医学物理分野にふれながら、研究者とのコミュニケーションをとったことで国際的な経験を積むことができ、今後の国際学会や臨床現場での活躍に意欲がわくきっかけとなっている。

世界最先端の放射線治療を学んで刺激を受けた研究者たちは帰国後、当院の研究内容について次々と論文を投稿し、採択されるに至っている。これも共同研究の成果の賜物であると考えられる。現在執筆準備中の論文もいくつかあり、今後も論文数は増える見込みである。

帰国後も相手国研究者と積極的にコミュニケーションを取り、自主的に研究を進めており、「国際的な場で活躍できる、高い研究能力を持った人材」が、医学物理分野を中心とした放射線腫瘍学領域で確実に育成されている。

D. 国際的学術情報の収集整備：

医学物理・生物工学国際会議、米国医学物理学会、米国放射線腫瘍学会、粒子線治療国際会議に参加し、帰国後は動向調査の結果を報告した。

相手国拠点機関の研究教育現場に派遣された若手研究者は、共同研究を遂行することで、現地での研究の動向に関する情報を得ることができており、また、帰国後帰朝講演を所属科で行い、留学で得た情報を科内の研究者に紹介したり、自らの研究の視野を広げることに役立てたりしている。また、医学物理士の臨床トレーニングを受け、臨床業務のノウハウなどを習得している。これらの経験を持ち帰り、今後の医学物理士養成に役立てることは、日本の医学物理教育に大きな発展をもたらす。相手国拠点機関の研究者は、医学物理士養成に関するノウハウの提供に協力的であり、今後教育に関する連携が継続的に図れる見込みである。

E. 事業の波及効果：

本事業の成果として、粒子線治療装置における中性子遮蔽、ミニビーム法の炭素線治療への適用、陽子線による治療計画 CT 取得のための基礎的研究等の共同研究内容は、国際誌への投稿や、国内外における学会等で発表された。このことで国内の研究者へは、海外の研究の現状や動向を知らしめることができた。海外の研究は、日本の場合よりも基礎科学分野の研究者が深く入り込んでおり、より基礎科学の裏付けをしっかりと固めて展開している印象を受ける。また、研究成果を必ず国際誌へ投稿することを目標設定しておりプレゼンのノウハウに長けており、未発表のままのことがある日本との相違を感じた。

本事業推進により粒子線治療を中心とした先端医療への応用を見据えて幅広い国際的な研究を、参加した若手の医学物理士と放射線腫瘍医が行うことにより、将来の日本の発展に貢献できる。施設代表者

はわが国の粒子線含むすべての放射線によるがん治療情報を、学会を通じて全国的に統括する立場にあるので、本事業に参加した若手研究者の支援を得て、これらの先端的研究の方向性を客観的にモニタリングし、その研究成果を全国へ均てん化する上で優れたリーダーシップを発揮できることになる。

1-2 移行審査時の研究交流目標の達成状況

① 移行審査時の研究交流目標（移行審査資料に記載した目標を転載のこと）

がん放射線治療における医学物理学として、粒子線および高精度放射線治療の発展をめざした国際研究交流を行う。日本の粒子線治療は現在、装置開発において世界を席巻している。海外有数のがん治療施設へ優れた日本製装置の導入が行われている。日本が世界のトップを引き続き走るため、粒子線治療装置及び関連装置開発は引き続き継続する必要がある。大阪では数年以内の粒子線センター開設構想がこの程決まり、現実味を帯びてきている。また、高精度放射線治療として IMRT、SBRT、IGRT といった新技術の導入もこの 2 年間だけを見て急速に進んでいる。粒子線治療と高精度放射線治療の両分野の基礎となる研究開発が急務となっている。

これまでの拠点形成型で大阪大学大学院医学系研究科を中心とし、学内の他部局（医学部附属病院、核物理研究センターなど）や学外の機関（東京大学、順天堂大学、京都大学、大阪府立成人病センター、兵庫県立粒子線医療センターなど）との連携を密にとることにより、国際的な医学物理研究教育機構立ち上げの基盤を作り上げた。拠点形成型は基礎的医学物理学の研究交流が中心で、主に日本から大学院学生を派遣し、医学物理研究能力の養成に努めてきた。徐々に成果が結実しつつある。今回の国際戦略型では、この両分野を下支えし、推進していくための医学物理学を新たに展開し、具体的な研究成果を得る。さらに、基礎研究として、粒子線、光子線両方の放射線に対する生物学的シグナル応答や、放射線照射の時の幹細胞の挙動といった放射線生物学、物理生物化学など新たな分野も展開していく。これら生物学的研究は、福島原発事故以降に問題となっている低線量被曝にも関連している。粒子線治療における散乱線および高精度放射線治療時の光子線による低線量域照射の被曝の医学物理的解釈と結びつけることが可能である。支援終了 5 年後には融合分野が花を開き低線量被曝問題にも解決策を提示できるであろう。

これら粒子線・高精度放射線治療の医学物理と基礎生物学の融合を図って行くのが国際戦略型の目標である。

○目標に対する達成度とその理由

- 研究交流目標は十分に達成された
- 研究交流目標は概ね達成された
- 研究交流目標はある程度達成された
- 研究交流目標はほとんど達成されなかった

【理由】

本事業の課題は、光子線の高精度放射線治療の臨床的な研究と、粒子線治療にかかわる基礎的な研究に大きく分けることができるが、相手国の拠点機関である米国・インディアナ大学、オランダ・ Groningen 大学や、協力機関に多数の若手研究者、学生を派遣し、これらに関する様々なテーマで共同研究を行った。国内の研究者や学生のみで研究を行う場合とは異なり、違った視点から切り込む研究も見受けられた。例えば、Minnesota 大にて、医学物理研究者が Tomohelical scan 型 IMRT を応用した白血病に対する全骨髄照射の研究では、本邦では、肺・腹部臓器といった危険臓器も含んだ通常全身照射しか無かった所、本 IMRT の開発拠点でならではの斬新な発想で、新しい方法が考案され、その開発に直接関わることができた。また、大阪粒子線治療施設の建設が決定し、2017 年に完成する予定であるが、大阪大学は医学物理士のその施設への主な人材供給機関となることが予想される。既に陽子線治療に関して実績を持つインディアナ大学や、粒子線治療施設の開設を目指して研究・開発を進めている Groningen 大学へ学生、若手研究者を派遣し、その最先端の研究や臨床に触れたという経験は、大阪の施設における立ち上げ準備にも大いに活かされる。

また、大きな目標である「粒子線・高精度放射線治療の医学物理と基礎生物学の融合」に関しては、

(様式 7)

低線量 X 線照射や平坦化フィルターが無いモードで照射した X 線に対する放射線生物学的影響の研究、炭素線治療における 2 次粒子の影響を生物学的線量の見地から調べた研究などが進められた。さらに、物理的色合いが強いテーマとしては、本学理学部バンデグラフ研究施設において中性子照射場を設定するところから始め、細胞への照射を行って、中性子の精密な生物学的効果比、放射線荷重係数の導出を目指した研究が立ち上がり、現在のところ予備的な結果が出ている。今後上記の研究を継続していく基盤は出来上がっている。

以上の理由により、当初の研究交流目標は十分に達成されたと言える。

2. 実施状況

① 研究交流計画実施にあたる実施体制

全期間にわたる「日本側拠点機関の実施体制（拠点機関としての役割・国内の協力機関との協力体制等）」、「相手国側拠点機関との協力体制（各国の役割分担・ネットワーク構築状況等）」、「日本側拠点機関の事務支援体制」について記入してください。

＜日本側拠点機関の実施体制（拠点機関としての役割・国内の協力機関との協力体制等）＞

日本側は、大阪大学大学院医学系研究科保健学専攻を拠点として、研究教育の母体となり、コーディネーターの監督の下、医療技術の現状や新規開発ニーズを研究展開の主題とした。本学核物理研究センター、同附属病院と協力して粒子線の基礎研究、臨床的な医学物理研究を行った。また兵庫県立粒子線医療センター、大阪府立成人病センター、国立循環器病センター研究所、東京大学、順天堂大学、帝京大学、京都大学と連携し、若手研究者、学生（医学物理士、放射線腫瘍医）を相手国の拠点機関、協力機関に派遣して共同研究を行った。

＜相手国側拠点機関との協力体制（各国の役割分担・ネットワーク構築状況等）＞

米国ではインディアナ大学医学部を拠点機関として、附属病院、パデュー大学、ミネソタ大学が連携して研究を行っている。当初の主メンバーがサウスフロリダ大学、クリーブランド大学病院、セントジュード小児研究病院、ニューヨーク大学病院へと移ったため、これらの機関との交流もあり、学生、若手研究者の派遣も求められている。オランダでは Groningen 大学原子核研究所を拠点機関として、医学部、附属病院、パウル・シュラー研究所（スイス）、カロリンスカ研究所（スウェーデン）が連携して研究を行った。

＜日本側拠点機関の事務支援体制＞

大阪大学国際企画課は、本事業の交流を基にしたインディアナ大学との大学間協定の締結を積極的に支援し、平成 24 年 4 月に締結された。これにより、インディアナ大学との交流はスムーズに行われ、持続的な連携が可能となる。また大阪大学は、平成 16 年に米国にサンフランシスコ教育研究センター、平成 17 年にオランダに Groningen 教育研究センターを設置しており、本事業による教員、学生の滞在や研究活動を支援した。

② 共同研究

年度当初の交流計画をふまえ、共同研究を実施するにあたっての枠組み、活動内容、得られた成果等（国内外の拠点機関・協力機関との連携状況も、考慮すること）

（1）平成 27 年度の状況

米国（括弧内は派遣された者の身分）

- ・パデュー大学との共同研究：昨年に引き続き乳がんの骨転移を抑制する効果を持つ化合物の開発（本学特任研究員）。
- ・インディアナ大学との共同研究：米国における放射線治療の実地臨床および研究、教育の実態調査（大阪府立成人病センター、放射線腫瘍医）体幹部定位放射線治療のための固定具における患者セットアップ精度・効率性の比較（大阪府立成人病センター、医学物理士）乳腺に対する放射線治療における心臓線量予測モデル式の確立

オランダ（括弧内は派遣された者の身分）

- ・Groningen 大学原子核研究所との共同研究：陽子線による治療計画 CT 取得のための基礎的研究（本学博士前期課程 2 年）

(様式7)

- ・グロニンゲン大学附属病院との共同研究：(1) 強度変調陽子線治療における呼吸性移動等に関する研究(順天堂大学助手、助教)(2) 頭頸部癌のCT-CBCTのDIRの最適化(東京大学、大学院生)
- (3) 頭頸部癌でのCBCTを用いた実RT線量分布の検討(貝塚市民病院、医学物理士)、(4) 食道癌化学放射線治療(光子線、陽子線)後の心肺晩期障害に関するDVH parameter解析、頭頸部癌放射線治療(IMRT、陽子線治療)後咽頭収縮筋機能障害のPEG(経皮内視鏡的胃瘻造設術)依存因子の検討(大阪府立成人病センター、放射線腫瘍医)IMRT、陽子線治療における甲状腺機能低下(大阪府立成人病センター、放射線腫瘍医)(5) モンテカルロ法を用いたAgility MLCのモデリング、VMATを用いた肺癌定位放射線治療における呼吸性移動の線量的影響の評価(大阪府立成人病センター、医学物理士)

スウェーデン

- ・カロリンスカ研究所との共同研究：マイクロビームに関する基礎的研究(本学博士課程2年)

(2) 全期間にわたる状況

派遣した人数(延べ)は、インディアナ大学12名(8名、括弧内学生数、以下同じ)、パデュー大学4名(2名)、ミネソタ大学3名(2名)、グロニンゲン大学28名(12名)、カロリンスカ研究所1名(1名)であり、研究テーマは粒子線治療に関するものが13、X線治療に関するものが23、放射線生物学に関するものが2であった。

派遣された研究者、学生は帰国後も相手先研究者と連絡を取り、研究が続いているものもある。また、本事業が終了後も相手先の資金によって引き続き若手研究者、学生を呼び寄せたいという動き(セントジュード小児研究病院、グロニンゲン大学等)もあり、今回の派遣によってつながりが広がっていき、また強化されるという良い例となっている。

③セミナー

(1) 全期間において実施したセミナー件数

	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度
国内開催	1回	3回	1回	4回	1回
海外開催	2回	0回	1回	2回	1回
合計	3回	3回	2回	6回	2回

(2) 平成27年度セミナー実施状況

- ・研究交流計画におけるセミナーの位置づけを、他の交流形態と関連させつつ述べること
 - ・交流目標達成に向け、セミナーが果たした貢献を、具体的に述べること
- ※具体的な実施状況及び成果については、別紙2にて作成のこと

米国医学物理学会のアジア・オセアニア委員会とのジョイント企画として、医学物理セミナーを行った。今年度が最終年度であるため、米国側のコーディネーターを交え、これまでの研究成果、現在の研究の状況、今後の方針について議論を行った。日本側は参加している各機関からできるだけ1名以上参加するようにした。また、米国の粒子線治療センターの研究者を大阪に招へいし、本邦の研究者とともにセミナーを行った。大阪に粒子線治療センターが開設することもあり、粒子線治療に関心のある多くの学生、若手研究者が参加していた。

④研究者交流

- ・研究交流計画における研究者交流の位置づけを、他の交流形態と関連させつつ述べること
- ・交流目標達成に向け、研究者交流が果たした貢献を、具体的に述べること

(1) 平成27年度実施状況

本学および協力機関(東京大学、順天堂大学、大阪府立成人病センター、市立貝塚病院)の学生、若手研究者を相手国拠点機関、および協力機関に1-12ヶ月程度派遣し、滞在期間中に担当する共同研究の推進、医学物理先進国での臨床トレーニングを行った。その後、研究、臨床経験を持ち帰り、周りの学生、若手研究者、教員への知識の共有を行った。

これまでに相手国拠点機関に派遣した学生、教員や、その他の学生、教員を、5月に米国で行われた粒子線治療国際学会(PTCOG)(6名)、6月にカナダで行われた医学物理&生体医工学国際学会(1名)、10月に行われた米国放射線腫瘍学会年会(ASTRO)(2名)に参加させ、研究成果の発表、および最近の海外での研究動向の調査を行った。7月にAnaheimで開催された米国医学物理学会年会(AAPM)でのJSPSシンポジウムにて、JSPSに参加した研究者・大学院生(14名)により、これまでの総括的な研究成果の発表を行い、議論を行った。これらのことにより、本事業で行っている共同研究の内容の世界的な発信と、日本では得られない海外での最先端の研究情報を得ることができた。

(2) 全期間にわたる実施状況概要

毎年度平均10名近い学生、若手研究者を相手先拠点機関、および協力機関に派遣した。派遣された若手研究者、学生らは滞在先での臨床現場や研究に触れ、それを持ち帰ることで我が国の医学物理学、放射線治療分野の臨床、研究レベルの底上げを図った。これは海外の学会に参加して講演を聴く以上の効果があった。派遣者は大阪のみならず、関東圏の研究機関(東京大学、順天堂大学、帝京大学)に所属するものも含まれているため、本事業による研究者交流は、全国的とまではいかなくても広い範囲に影響を及ぼした。特に、派遣された若手研究者、学生の中には、帰国後も相手国研究者と積極的にコミュニケーションを取り、自主的に研究を進めようとしているものもあり、「国際的な場で活躍できる、高い研究能力を持った人材」が、医学物理学分野で育成されつつあると言える。

また、下記の国際学会、国際交流セミナーへの派遣を行い、それらを通して研究交流活動を行った。

AAPM、ASTRO、PTCOG、JSPS Core-to-Core Program "9th Osaka University Medical Physics Seminar" with Indiana University (USA) and Groningen University (The Netherland) (H24)、Medical Physics International School & the 11th Medical Physics Seminar (H25)、JSPS Core-to-Core Program "Osaka University - Indiana University Medical Physics Seminar" at Indiana University (H25) JSPS Core-to-Core Program Pre-AAPM Scientific Symposium at Anaheim, U.S.A (H27)

国内でも、海外拠点からの研究者を招へいし、JSPS 先端研究拠点事業「医学物理研究教育拠点の形成」大阪大学医学物理セミナー、放射線射治療&医学物理合同セミナーを毎年に取り、数多く実施した。

本事業により海外の学会が身近になり、演題登録を積極的にしようとする学生(博士前期、博士課程等)が増えた。また、本事業が終了する来年度以降でも、何らかの方法にて海外で研究を行うことを希望する学生が、以前より増えていると感じられ、本事業により、医学物理学分野の国際化が一步進んだと言える。

3. 研究交流活動の成果

全期間の交流を通じての成果を、「国際学術交流拠点の形成」「成果の学術的価値」及び「若手人材育成への貢献」の観点から記入してください。また、活動成果の「情報集約性」「社会貢献性」がある場合には記入してください。

3-1. 国際学術交流拠点の形成

本事業により、大阪大学、米国・インディアナ大学、オランダ・グロニンゲン大学の3拠点での交流は確立され、医学物理学の国際教育研究拠点を形成できた。日本国内では他に、東京大学、順天堂大学、帝京大学、京都大学、大阪府立成人病センター、兵庫県立粒子線医療センターとの連携により、交流は活性化されている。また、インディアナ大学は教員の流動性が激しく、既にコアメンバーのうち4名が米国各地に散らばったため、米国側の関連施設の層も厚くなった。

拠点機関を中心として協力機関と構築できた理想的な研究交流を継続でき、国際的な視点での先端的研究開発に焦点を絞った共同研究体制が構築できた。

3-2. 成果の学術的価値

本課題では、多くの高精度放射線治療に関する研究、粒子線治療に関する研究、放射線生物学に関する研究が行われ、成果を出した。高精度放射線治療では治療計画やその堅牢性の検証、治療期間中の再計画の必要性の検証など、臨床に近いテーマの研究が行われた。粒子線治療に関しては、既に治療が行われている施設、今まさに立ち上げを行おうとしている施設との共同で、陽子線ラジオファイバー、2次中性子遮蔽、PETを用いた陽子線治療の品質管理に関する研究などが行われた。これらは施設によって使用機器、装置、考え方が異なるので、海外の施設との共同研究を行い、成果を出せた。また、

(様式 7)

頭頸部癌など各種癌放射線治療後の有害事象について、臨床成績と医学物理的解析を踏まえて、異なる人種間での比較検討ができた。これら、国際共同研究ならではの学術的価値は高い。

インディアナ大学で行った体幹部定位放射線治療の固定具の研究は、固定具を選択する場合の貴重なデータとなりうる。また乳腺の線量予測に関する研究結果は、不正確な線量計算アルゴリズムを用いた過去の照射情報から心臓の線量を予測することが出来る。こうしたデータは心臓と線量の関係について、既存手法よりも精度いい抽出ができると考えられる。

VMAT を用いた肺癌定位放射線治療では呼吸性移動の線量的影響はほぼないことが示唆された。

Agility MLC を搭載したモンテカルロモデリングによって、照射技術が複雑な回転型強度変調放射線治療のシミュレーションを行うことができるようになった。これまでの治療前検証は電離箱などを用いた実測が主体であったが、シミュレーションによって治療前検証を代替できる可能性が示された。検証時間低減につながり、臨床現場において有用であると考えられた。

また放射線生物学に関しては、インディアナ大学生物工学部との共同研究により、放射線治療抵抗性である軟骨肉腫の小胞体ストレス応答の元にした放射線増感剤と、乳癌骨転移の新規放射線治療戦略の開発ができた。また医工連携でしか成し得ないがん細胞の硬度によりがん転移能性細胞を選り分けるシステムの開発をできた意義は大きい。

3-3. 若手人材育成への貢献

前述の通り、派遣された若手研究者、学生の中には、帰国後も相手国研究者と積極的にコミュニケーションを取り、自主的に研究を進めようとしているものもあり、派遣前と比べると成長が伺える。また、本事業が終了する来年度以降でも、何らかの方法により海外で研究を行うことを希望する学生が、以前より増えており、国際性を持ち、自ら研究・開発を行う意欲、能力を持った若手の人材が、医学物理分野で育成されつつある。彼らにとっては本事業が無ければそのような経験をする事は無く、若手育成に大きく貢献したと断言できる。

本プログラムにより国際的に通用する医学物理研究者を多数育成できた。これらの人材は今後わが国全体の医学物理学の発展に大きく貢献すると予想する。

3-4. 情報集約性

本事業での研究の進捗、成果はすべてコーディネータおよび派遣元の代表者の元に報告され、情報として集中管理されている。

その内容は逐次ネットワーク会議にて参加者全員が情報共有している。今後も継続して集約、共有される。

3-5. 社会貢献性

医学物理士の養成や、医学物理研究が欧米並みになれば、より高精度で確実な治療が実施でき、がん治療の一つの柱を担う放射線治療の発展につながるため、本事業による医学物理士の研究、臨床能力のボトムアップは社会的貢献性が高いと言える。

今後、本事業修了者は、わが国で遅れている医学物理分野の研究開発を牽引する研究者となりえ、最終的にはがん治療成績の向上に貢献することが期待できる。

4. 経費の執行状況

4-1. 平成 27 年度の状況

事業実施状況との関連（研究者の交流数や、セミナー等会合の開催状況などと、経費の関連を、具体的に示すこと）

平成 27 年度は、共同研究としての派遣者数・期間は 6 名・延べ約 19 ヶ月であり、それに関わる渡航・滞在費用を外国旅費として執行した。また共同研究に必要な物品を購入した。

セミナーは国外で 1 回、国内で 1 回開催した。国外開催のセミナーは米国医学物理学会の前日に行ったため、同学会に参加する日本人参加研究者にできるだけ参加してもらい、その渡航・滞在に関わる費用を外国旅費として支出した。

研究者交流では大学院生を計 3 名・延べ約 14.3 ヶ月相手国拠点に派遣し、それに関わる渡航・滞在

(様式7)

費を外国旅費として執行した。また国内外の学会・ワークショップなどへの参加のための費用を国内、国外旅費として執行した。

これら、渡航・滞在、研究交流についての必要経費に対しては、該当者にヒアリングを行ったが過不足ない額が支給され、適当額であったと思われる。

【参考】

相手国側との経費分担の状況（※様式3（四半期交流状況報告書）に記載の、相手国側マッチングファンドにより来日した人数についても触れること）

7月に米国・アナハイムで行われた大阪大学－米国医学物理学会・アジア・オセアニア委員会ジョイントセミナーの開催費は、米国側の経費で支払われた。

相手国側マッチングファンドにより来日した人数は、平成27年度は0であった。

4-2. 全期間にわたる状況

(1) 執行額（単位：千円）

	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度
国内旅費	509	1,676	1,729	471	587
外国旅費	14,156	12,711	16,367	19,055	15,480
物品費	225	200	240	200	107
謝金	0	0	0	0	0
その他の経費	407	1,748	3,258	1,203	3,383
外国旅費・謝金に係る消費税	703	665	906	1,571	1,443
合計	16,000	17,000	22,500	22,500	21,000

(2) 本事業経費による派遣／受入人数（相手国側マッチングファンドによる受入は含まない）

	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度
派遣人数（人）	31	30	35	31	32
受入人数（人）	2	3	0	0	0

5. 全期間における問題点・反省点

（事業全体の実施体制上において、課題、問題となったものや、反省点等があれば示すこと）

本事業を実施する拠点施設である医学系研究科保健学専攻の医学物理コースは、博士前期課程の学生がほとんどで、彼らは多くの講義、実習を履修する必要があり、海外へ派遣するタイミングが難しかった。そして若手大学院生では、短期での留学に至る十分な研究能力を有していないことも多く、派遣を促進することが出来なかった。

留学先の急な異動により研究が一時的に困難となったものがあつた。受け入れのバックアップ体制の構築が望まれる。

3ヶ月程度の短期間の留学が多く、留学前の準備が非常に重要であることを各派遣者は痛感している。留学前から密な交流を可能とする十分な環境整備がコーディネーターおよび各施設代表者によって必要である。

実質的なマネジメントを行う事業遂行者が少なく、事務作業の負担が大きいため、遂行者の人数を増やす必要があつたが、結局増やすことはできなかった。

6. 今後の展望

本事業により日本側は、大阪大学（医学系研究科保健学専攻、医学科専攻、附属病院、核物理研究センター）、京都大学、東京大学、順天堂大学、大阪府立成人病センター、兵庫県立粒子線医療センター、協力機関として挙げている施設として、放射線医学総合研究所、帝京大学の間の連携を確立し、米国側としてはインディアナ大学、パデュー大学、ミネソタ大学、カリフォルニア大学、テキサス大学、協力機関として挙げている施設としては、サウスフロリダ大学、クリーブランド大学病院、セントジュード小児研究病院、ニューヨーク大学と、オランダ側としては Groningen 大学、パウル・シュラー研究所（スイス）、カロリンスカ研究所（スウェーデン）との共同研究、研究者交流を行うなど、多くの機関との連携を取ることができた。今後は引き続き、これらの研究機関と連携を取り、交流、共同研究を続けていく予定である。

大きな目標であった「粒子線・高精度放射線治療の医学物理と基礎生物学の融合」に関しては、本事業により推進していく基盤が出来上がった。今後はそれぞれを発展させつつ、融合を図る。数年のうちに実現させ、また低線量被ばく問題等への解決策の提示を目指す。

本事業による若い医学物理研究の人材育成の意義は大きく、今後、わが国の放射線治療の発展に必ずや貢献するであろう。アジアに目を向けると中国、インド、韓国からは主に個人レベルでの欧米留学は盛んで、確かに留学先で個人としての実績は上げているが、多くは留学先に定着し本国へ帰国せず、本国の発展にはあまり寄与していない。日本では、たとえば本事業による欧米短期留学の経験を個人レベルの業績に留まらず、国際的に通用する医学物理研究者となって、施設、地域や国全体のがん診療の質向上に波及させようとしている。日本らしい組織的で気高い目標であろう。このような事業は是非、発展させて継続していただきたいと思う。

大阪大学関連では国際戦略特区である大手前地区に平成 29 年度に移転する大阪府立成人病センターに隣接して重粒子線治療施設の建設が始まり、平成 32 年から本格稼働する。今回形成された協力体制を活かし、診療連携体制を含めてコミュニケーションを取りながら研究を実施していく。本事業の修了者が、粒子線治療分野で活躍する日は近い。期待を持って注目しており、日本発の優れた研究成果が数多く発表される予感がある。