

首都大学東京
学報学位論文第16号

博士學位論文

内容の要旨及び審査の要旨

首都大学東京

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨公表

大学院博士後期課程修了者及び学位論文を提出した者に対し、博士の学位を授与したので、学位規則（昭和 28 年文部省令第 9 号）第 8 条及び首都大学東京学位規則（平成 17 年法人規則第 54 号）第 22 条の規定により、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

目 次

1 博士後期課程を修了した者

学位記番号	氏名	論文名	ページ
理工博第73号	竹内 祥人	磁化ダイナミクスによって駆動される電荷とスピンの輸送理論 (英文)	……………2
理工博第74号	中井 康弘	ショウジョウバエの睡眠様行動における Sra とカルシニューリンの役割 (英文)	……………7
都市環境博第59号	Roxana Hoque	バングラデシュにおけるモンスーンの季節推移とその大気循環及び洪水との関係 (英文)	……………10
都市環境博第60号	Duong Du Bui	ベトナム紅河デルタにおける帯水層構造および地下水位トレンドの特性評価 (英文)	……………13
都市環境博第61号	齋藤 崇実	リチウムイオン電池用高出力電極のための電極反応メカニズム解析	……………17
都市環境博第62号	保科 圭吾	固体電解質 / 固体電極活物質界面制御と界面反応機構に関する研究 (英文)	……………21
シス博第26号	TAN KWEK TZE	縫合 CFRP 積層板の衝撃損傷許容特性と性能 (英文)	……………24
シス博第27号	大石 政裕	受信信号を用いた基準信号サンプリングによるパルス型レーザー測距システムに関する研究	……………28
シス博第28号	入江 喬介	超音波診断法の適用領域拡大のための新技術開発に関する研究	……………31
健 博第35号	井口 知也	認知症高齢者の絵カード評価法の信頼性と妥当性の検討	……………34

2 学位論文を提出した者

学位記番号	氏名	論文名	ページ
人 博第18号	川田 学	乳児期における自己発達の原基的機制 —客体的自己の起源と三項関係の蝶番効果—	……………37
人 博第19号	嵩井 里恵子	14・15世紀パリにおけるサン・ジャック巡礼施療院—証書史料・会計史料からみたその社会的役割—	……………44
都市環境博第58号	門脇 耕三	集合住宅の構法に規定される住戸計画の自由度に関する研究	……………50
健 博第36号	渡邊 直美	在宅脳性麻痺者が求める作業療法に対するニーズ	……………53
健 博第37号	伊藤 猛	PET / MRI 3次元画像位置合わせに関する研究	……………55

博士後期課程修了者

氏名	竹内 祥人
学位の種類	博士（理学）
学位記番号	理工博 第73号
学位授与の日付	平成23年9月30日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	磁化ダイナミクスによって駆動される電荷とスピンの輸送理論（英文）
論文審査委員	主査 准教授 多々良 源 委員 教授 岡部 豊 委員 教授 南方久和 委員 教授 真庭 豊 委員 教授 齊藤英治（東北大学金属材料研究所）

論文の内容の要旨

本文

本研究では、磁化ダイナミクスとスピン軌道相互作用によって生じるスピン輸送現象の理論解析を行う。それにより最終的に、物質中に現れる磁気モノポールを理論的に導出する。また、現在のスピン流を主体としたスピントロニクス現象の解釈に加え、新たにこの磁気モノポールを介したエレクトロニクスを提案する。

スピン角運動量の流れであるスピン流は、電子のスピンとしての自由度を積極的に扱う事を目的としたスピントロニクス研究において要となる物理量である。特に電荷を伴わない純スピン流は、ジュール熱が発生しないため応用面からも大変注目を集めている。しかしながらスピン流の直接的な観測は不可能であり、スピンの流れが生じた結果誘起されるスピン分極を観測したり、スピンホール効果を用いて電氣的に検出したりと間接的な手段でこれまで測定は行われてきた。また、スピン流は一般に非保存な物理量であるため理論的に一意な定義ができないという問題も抱えており、そのため測定したスピン分極や電圧および電流が直接スピン流と結び付くのかも不透明である。

まず初めに本研究では、数多く提案されているスピン流生成法の中でもよく使われているスピンプンピングに着目し、また逆スピンホール効果を介した電流への変換メカニズムの解析を行うことで、スピン流の理解を図った。スピンプンピングとは強磁性体中の磁化の歳差運動によりスピン流を接合した非磁性体に注入できる現象である。また逆スピンホール効果は、スピン軌道相互作用の働く試料に電流を印加する事でそれとは垂直方向にスピン流を誘起するスピンホール効果の逆過程であり、スピン流を電流に変換する事ができる。これらの現象は強磁性体と非磁性体の接合という非常に簡素な試料で実現され、スピンプンピングによって非磁性体に注入されたスピン流は非磁性体中のスピン軌道相互作用によって電流へと変換される。これはスピントロニクス研究では大変基礎的な系であり、応用への基盤という意味でも重要な役割を担っている。

一般に、スピン流には場によって駆動されるものと、その場が誘起したスピン蓄積の拡散によるものと2種類が存在する。前者が場の方向を変える事でスピン流の向きを制御できるのに対し、後者は等方的な流れであるため試料形状以外での制御は不可能である。スピン流

の生成および制御を目標としているスピントロニクス研究において、このスピン流を駆動するための有効場を理解する事が研究発展の鍵を握っている。通常、場による流れと拡散流は同程度の大きさで現れバランスを取るのであるが、本研究によりスピンプンピングではその大きさが磁化の空間変化と電子の平均自由行程に大きく依存する事が判明した。平均自由行程に対し磁化がゆっくりと変化する場合、スピン蓄積による拡散スピン流が本質的な流れとなり、磁化構造が作り出す有効場の効果は極めて小さくなってしまう。逆に磁化が激しく変化するような場合には拡散スピン流は小さくなり、有効場に駆動されるスピン流が主となる。通常実験に使われる試料には不純物が多く含まれている事から、スピンプンピングにより生成されるスピン流はスピン蓄積の拡散によるものであると結論付けられる。

次に、生成されたスピン流の逆スピンホール効果を介した電氣的検出について解析を行った。磁化のダイナミクスとスピン軌道相互作用によって生成される電流を計算し、スピンプンピングの結果と比較する事でスピン軌道相互作用が起こすスピン流—電流変換メカニズムを明らかにした。ここでスピン軌道相互作用として、物質中では一般的な不純物による散乱によって起こるスピン軌道相互作用と、空間反転対称性の破れた試料の表面や界面に特有なラッシュバ相互作用を考慮した。すると、ラッシュバ相互作用では拡散スピン流および電子スピンの非保存性からくるスピン緩和トルクが電流へと変換されるのに対し、不純物散乱によるスピン軌道相互作用は磁化構造が作る有効場によって駆動される小さなスピン流のみを電流へと変換し、拡散流はただ流れるだけである事が明らかになった。このようにスピンから電荷への変換則はスピン軌道相互作用の種類に大きく依存する。この結果を利用して、拡散流の源がスピン蓄積である事から、スピン蓄積を測定する事で試料に働いているスピン軌道相互作用の種類を特定する事が可能となる。

以上の結果により、スピン流—電流変換機構に簡単な一般則が存在しない事が明らかになったため、電磁気学におけるスピン流の役割はより一層混迷を深めた。スピントロニクス現象を電磁気学的に理解できるのであればそれが一番有益であるため、最後に本研究のメインの結果となるマクスウェル方程式により逆スピンホール効果を解釈するための解析を行った。

磁化ダイナミクスとスピン軌道相互作用によって生成される電流の結果から、有効電場および有効磁場を定義する。それら有効場の満たす方程式としてマクスウェル方程式の導出に成功した。ここで得られたマクスウェル方程式は磁気モノポールを含んだ表式をしている。この磁気モノポールは、磁化の歳差運動が緩和する過程で生じるスピン角運動量がスピン軌道総合作用を通して軌道運動へと変換される事で現れる。また、その流れはアンペール則を介して電場を誘起し、さらには電流を駆動する。これは逆スピンホール効果の物理的描像とも一致しており、逆スピンホール効果にはスピン流が電流へと変換される過程の他に、磁気モノポールが介するものも存在する事が判明した。この磁気モノポール流とスピン流とは本質的に異なり、スピン流が保存しないのに対し磁気モノポールは保存量である。またこれら2つの流れは強磁性 / 非磁性接合系において互いに直交している。

今回明らかになったように、磁気モノポールが媒介するスピントロニクス現象には、自然が織り成す電磁気学の対称性が現れている。磁気モノポールは物性分野のみならず物理全体における重要な研究対象のひとつであり、本研究は物質や宇宙を越えたもっと広い物理における一般法則を見出す足がかりとなるかもしれない。

学位論文審査の要旨

1 研究の目的

本研究の目的は、スピン軌道相互作用下において磁化のダイナミクスによって生じるスピンの依存した電子の輸送現象を理論的に解析することである。スピン角運動量の流れであるスピン流は、電子のスピンとしての自由度を積極的に扱う事を目的としたスピントロニクス研究において要となる物理量である。特に電荷を伴わない純スピン流は、ジュール熱が発生しないため応用面からも大変注目を集めている。しかしながらスピン流の直接的な観測は不可能であり、スピンの流れが生じた結果誘起されるスピン分極を観測したり、スピンホール効果を用いて電氣的に検出したりと間接的な手段でこれまで測定は行われてきた。また、スピン流は一般に非保存な物理量であるため理論的に一意な定義ができないという問題も抱えている。そのため、測定したスピン分極や電圧および電流も直接スピン流と結び付くのかは不透明である。

本研究では、数多く提案されているスピン流生成法の中でもよく利用されているスピンプンピングに着目し、逆スピンホール効果を介した電流への変換メカニズムの解析を行う。スピンプンピングとは、強磁性体中の磁化の歳差運動により接合した非磁性体にスピン流を注入できる現象である。また逆スピンホール効果は、スピン軌道相互作用の働く試料に電場を印加する事でそれとは垂直方向にスピン流を誘起するスピンホール効果の逆過程であり、これを通じてスピン流を電流に変換する事ができる。これらの現象は強磁性体と非磁性体の接合という簡単な試料で実現されており、そこでスピンプンピングによって非磁性体に注入されたスピン流は非磁性体中のスピン軌道相互作用によって電流へと変換されると理解されている。これはスピントロニクス研究では大変基礎的な系であり、応用への基盤という意味でも重要な役割を担っている。この重要な現象を、微視的理論による解析によって理解し、スピン流の非保存などの問題の本質的解決を行うのが本研究の目標である。スピン流の概念で現象をどこまで解釈することができるのかについても議論し、より物理的に優れた解釈の可能性も探索する。

2 研究の方法と結果

解析は、非平衡グリーン関数に基づいた微視的手法により、相互作用を摂動的に取り入れる方法で行う。電子の相互作用としては、磁化との $s-d$ 型の相互作用とスピン軌道相互作用を取り入れる。電子の不純物散乱の効果も取り入れることで電子の拡散運動の効果も考慮する。結果として、スピン流には場によって駆動されるものと、スピン蓄積の拡散によるものとの2種類が存在することが確認できた。前者が場の方向を変える事でスピン流の向きを制御できるのに対し、後者は等方的な流れであるため試料形状以外での制御は不可能である。スピン流の生成および制御を目標としているスピントロニクス研究においては、スピン流に対する有効スピン電場を理解することが本質的に重要である。本解析により、スピンプンピングにより発生する有効スピン電場は磁化の空間変化と電子の平均自由行程に大きく依存する事が判明した。平均自由行程に対し磁化がゆっくりと変化する場合、スピン蓄積による拡散スピン流が本質的な流れとなり、磁化構造が作り出すスピン電場の効果は極めて小さくなってしまふ。逆に磁化が激しく変化するような場合には拡散スピン流は小さくなり、スピン電場に駆動されるスピン流が主となる。通常実験に使われる試料には不純物が多く含まれ

ている事から、スピンプンピングにより生成されるスピン流は、スピン蓄積の拡散によって起こるものが主である。

次に、生成されたスピン流の逆スピンホール効果を介した電氣的検出について解析を行った。スピン軌道相互作用が働いている系で、磁化のダイナミクスによって生成される電流を計算し、スピンプンピングの結果と比較する事でスピン軌道相互作用が起こすスピン流—電流変換メカニズムを明らかにした。ここでスピン軌道相互作用として、物質中では一般的な不純物による散乱によって起こるスピン軌道相互作用と、空間反転対称性の破れた試料の表面や界面で起こるラシュバ相互作用とを考慮した。すると、ラシュバ相互作用では拡散スピン流および電子スピンの非保存性からくるスピン緩和トルクが電流へと変換される事がわかった。一方で不純物散乱によるスピン軌道相互作用は、磁化構造が作るスピン電場による小さなスピン流のみを電流へと変換し、一方で拡散流は電流には寄与しないことが明らかになった。このようにスピンから電荷への変換則はスピン軌道相互作用の種類に大きく依存する。この結果を利用して、拡散流の源がスピン蓄積である事から、スピン蓄積の測定によって試料に働いているスピン軌道相互作用の種類を特定する事が可能となる。

以上の結果から、スピン流—電流変換機構に簡単な一般則が存在しない事がわかった。つまりスピン流を用いて逆スピンホール効果を電磁気学的に理解する事は難しいことが明らかになった。そこで、この現象を電磁気学的に記述できる可能性を探るべく、逆スピンホール効果で起こる磁化ダイナミクスとスピン軌道相互作用によって電流が誘起される現象を、マクスウェル方程式により解釈するための解析を試みた。逆スピンホール系で生成される電流の結果から、その電流を駆動する有効電場および有効磁場を定義し、それら有効場の満たす方程式としてマクスウェル方程式の導出を行った。それにより、ここで得られたマクスウェル方程式は磁気モノポールが満たすものと同じ表式をしている事が判明した。この磁気モノポールの古典解は、磁化の歳差運動が緩和する過程で生じるスピン角運動量が、スピン軌道相互作用を通して軌道運動へと変換されるために現れるとみなせる。また、その流れはアンペール則を介して電場を誘起し、さらには電流を駆動する。これは逆スピンホール効果の物理的描像とも整合しており、逆スピンホール効果にはスピン流が電流へと変換されるという解釈の他に、磁気モノポールを介するものがあることがわかった。スピン流の定義の曖昧性や電流への変換に普遍性がない事実などの問題を考えると、スピンプンピング効果と逆スピンホール効果の系では、モノポール生成が磁化の運動と電流生成をつなぐ役割を果たしていると考えの方が自然であろう。この結果により、スピントロニクスに基づいたデバイスを考えるのであれば、モノポール制御の手段を確立することが本質的に重要となることが示唆され、今後のスピントロニクス現象に新しい方向性が示された。なおこのモノポールの古典解が、磁荷の量子化という通常のモノポールが満たす要件を満たしているかは現段階では明らかではなく、今後の重要な課題である。

3 審査の結果

スピントロニクスは、スピン依存電気伝導の分野の中でもデバイス応用への側面が強いため、理論解釈は現象論的なものが主流である。現象論的な解釈の範囲では、本論文で考察されたスピンプンピング効果と逆スピンホール効果は磁化の運動によるスピン流生成とその電流への変換として理解されており、実験との整合性も定性的には良いと思われてきた。しか

し、本研究で行われた微視的理論解析により、この理解は近似的なものにすぎず、普遍性にも欠けた不十分なものであることが明らかになった。本研究結果によると、スピン流を介して磁化ダイナミクスと電気伝導現象を理解することには限界があることになる。

この事実はスピン流の定義の不確定性などとも深く関係しており、その自然な帰結といえる。本解析は、採り入れられている相互作用や近似が明確である点において従来の現象論とは大きく異なり、実験家にとっても大変有益な情報をもたらした。さらに、スピンドampingモノポールの概念を導入することで現象をきれいに整理したことにより、今後のスピントロニクス分野において新しい展望が開かれる可能性を示した。総じて、竹内氏の研究はスピントロニクスの理論及び実験的発展に大きく貢献するものであることは明らかである。

以上の結果、本論文は博士（理学）の学位に充分値するものと判定した。

4 最終試験の結果

本学の学位規定に従って最終試験を行った。公開の席上で論文内容の発表を行い、物理学専攻教員による質疑応答を行った。また、論文審査委員による本論文および関連分野の試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、合格と判定した。

氏名	中井 康弘
学位の種類	博士（理学）
学位記番号	理工博 第74号
学位授与の日付	平成23年9月30日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	ショウジョウバエの睡眠様行動における Sra とカルシニューリンの役割 (英文)
論文審査委員	主査 教授 相垣 敏郎 委員 准教授 坂井 貴臣 委員 准教授 堀内 純二郎

論文の内容の要旨

睡眠はヒトから昆虫にいたる様々な動物種において見られる生理現象であるが、睡眠の分子機構はほとんど解明されていない。ヒト疾患の遺伝学的解析から、精神疾患の中でしばしば睡眠障害を伴う統合失調症とカルシニューリン (CN) 遺伝子の関連が示唆されている。CN は、酵母からヒトまで保存された Ca^{2+} カルモジュリン依存性脱リン酸化酵素であり、多様な機能に関わっていると考えられるが、睡眠との関連は定かではない。そこで本研究では、遺伝学的解析に適したショウジョウバエを用いて、CN およびその制御遺伝子の機能破壊変異体の表現型を解析し、睡眠における CN の役割を明らかにすることを目的とした。

CN は2つのサブユニット (CnA および CnB) から構成される。ショウジョウバエのゲノムには、前者をコードする遺伝子として3種類 (CanA-14F、Pp2B-14D、CanA1)、後者をコードする遺伝子として2種類 (CanB、CanB2) が存在する。また、CN の活性制御因子 Regulator of Calcineurins (RCANs) のホモログとして sarah (sra) が存在する。これら合計6個の遺伝子について、相同配列組換えを利用した遺伝子ターゲティング法により遺伝子機能破壊変異体を作製し、それぞれの表現型を解析した。変異体の活動パターン/睡眠パターンを測定するためには、単位時間あたりの活動量を個体ごとに自動的にモニターできる装置を用い、個体が5分間以上活動しない場合を睡眠状態と判定した。その結果、sra^{KO} 変異体において、著しい活動量の増大、行動学的な概日リズムの消失、および睡眠量の減少をもたらすことが判明した。1日あたりの睡眠の回数は変化がなかったが、1回あたりの睡眠時間が減少していた。一方、CN サブユニットをコードする遺伝子の変異体の中では、CanA-14F^{KO} および CanB^{KO} 変異体において、著しい活動量の増大と睡眠量の減少を示した。また、CanA-14F^{KO} の行動学的概日リズムは sra^{KO} と同様に消失していた。変異体で観察された表現型は、各変異体に対応する野生型の遺伝子を導入して神経系で発現させることにより回復することから、ノックアウトした遺伝子が確かに原因であることが確認された。CN 各遺伝子および sra 遺伝子の GAL4 レポーターコンストラクトをもつトランスジェニック系統を樹立した。発現パターンを解析したところ、変異体が睡眠異常を示した sra^{KO}、CanA-14F^{KO}、CanB^{KO} は、主に神経系で発現していることが確認された。これらのことは、CN の神経系での機能が睡眠に重要であることを示唆する。さらに、統合失調症の治療に用いられるドーパミン D2 受容体の

拮抗薬を sra^{KO} 、 $CanA-14F^{KO}$ 、 $CanB^{KO}$ に摂取させたところ、少なくとも sra^{KO} と $CanB^{KO}$ の行動異常が部分的に回復した。これらの結果は、CN シグナルがドーパミンを介して睡眠を調節していることを示唆する。

本研究は、睡眠における CN の役割をはじめて直接的に証明したもので、この分子を手がかりとして睡眠の制御にかかわるシグナル系の解明につながるものと期待される。

Nakai, Y., Aigaki, T. Role of Calcineurin in *Drosophila* sleep. (in preparation)

学位論文審査の要旨

1 研究の目的

睡眠は様々な動物種において見られる生理現象であり、記憶の形成や保持機構に関連することが示唆されている。動物の種類によって、睡眠のタイミングや、睡眠時間などは異なるが、睡眠様行動は広く認められることから、生物にとって重要な意義をもつものと考えられている。近年、記憶の保持機構と密接に関連することが示唆されているが、睡眠を制御する分子レベルの機構についてはほとんどわかっていない。ショウジョウバエにおいても睡眠様行動が認められ、その異常を示すいくつかの変異体が同定されている。本研究は、ショウジョウバエを用いて、カルシウム依存的に活性化される酵素カルシニューリンの機能破壊変異体を作製し、睡眠の機構におけるこれらの分子、およびその制御因子の役割を解明することを目的としている。

2 研究の方法と結果

まず、ショウジョウバエ *sarah* (*sra*) 遺伝子のノックアウト変異体の活動性が異常に高いことに注目し、活動量および睡眠様行動の定量的な解析を行った。ショウジョウバエ行動測定装置を用いて、ガラス管内でのハエの活動量を1分単位で連続的に記録した。従来の定義に従って、“5分間以上行動学的な活動が検出されない状態”をショウジョウバエの睡眠様行動とした。*sra* 変異体では、野生型に比べて活動量が著しく増加するとともに、睡眠量が極めて低下していることが判明した。また、通常24時間周期で観察される行動学的な概日リズムも消失していた。野生型 *sra* 遺伝子を神経系で強制発現できるトランスジェニックシステムを用いて、*sra* 変異体と組み合わせたところ、変異体の行動学的異常が正常に回復した。このことは、神経系における *sra* の機能が正常な睡眠様行動に必須であることを示した。*Sra* タンパク質は、細胞内カルシウムの上昇によって活性化される脱リン酸化酵素カルシニューリン (CN) の制御因子 (RCAN) の1種であり、*sra* 変異体の睡眠様行動異常は CN の異常を介している可能性を示唆する。CN は触媒サブユニットと調節サブユニットのヘテロ二量体として機能し、酵母からヒトまで広く保存されている。ショウジョウバエゲノムには、3つの触媒サブユニット遺伝子、および2つの調節サブユニット遺伝子が存在する。遺伝子ターゲティング法を用いて、これら5個の遺伝子すべてについて、それぞれノックアウト変異体を作製した。それらの活動量、睡眠量を測定したところ、触媒サブユニットをコードする *CanA-14F* 変異体、および調節サブユニットをコードする *CanB* 変異体において、顕著な活動量増大と睡眠量減少が認められた。これらのことは、カルシニューリンの機能が睡眠様行動に不可欠であること、そして特定の2つのアイソフォームが主要な機能を担っていることを意味する。また、恒常活性化型 CN を神経系で発現させた場合にも、睡眠量の減少が起こることから、正常な睡眠様行動には CN 活性の適正な制御が必要であることが示唆された。

3 審査の結果

本研究は、ショウジョウバエの睡眠様行動にかかわる遺伝子として、カルシニューリン（カルシウム／カルモジュリン依存性脱リン酸化酵素）、およびその制御因子 Sra を同定したものである。これまで、神経系で機能する遺伝子の変異体が睡眠に異常を示すことは報告されているが、カルシウム／カルモジュリンシグナルと直接的な関連を示す分子が明らかにされたことは大きな進歩である。カルシニューリンは学習や記憶の機構との関連が示されている分子であり、これらの機構との関連も興味深い。また、遺伝子ターゲティングベクターに独自の改良を加えて遺伝子ノックイン法を試み、成功していることも評価される。よって、本論文は博士（理学）の学位に十分値すると判定した。

4 最終試験の結果

本学の学位規則に従って最終試験を行った。公開の席上で論文内容を発表し、生物科学専攻教員による質疑応答をもって論文および関連分野についての最終試験とし、合格と判定した。

氏名	Roxana Hoque
学位の種類	博士（理学）
学位記番号	都市環境博 第59号
学位授与の日付	平成23年9月30日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	バングラデシュにおけるモンスーンの季節推移とその大気循環及び洪水との関係（英文）
論文審査委員	主査 教授 松本 淳 委員 教授 高橋 日出男 委員 教授 渡邊 眞紀子

論文の内容の要旨

ABSTRACT

This study presents comprehensive aspects of climatological characteristics of the monsoon seasonal transitions associated with the atmospheric circulation in Bangladesh, focusing on the pre-monsoon, monsoon and post monsoon periods including the onset and withdrawal phases. These were examined using pentad and 20-day mean wind, moisture flux, geopotential height and precipitable water distributions. The data were obtained from the Japanese 25-year re-analysis data from 1979 to 2003 and rainfall data from the Bangladesh Meteorological Department (BMD) from 1948 to 2008. Results demonstrate that the onset and withdrawal of the summer monsoon season in Bangladesh occur between pentad 31 (May 31-June 4: hereafter abbreviated as P31) and P32 (June 5-9), and between P56 (October 3-7) and P57 (October 8-12), respectively.

It is worth-noting that during pre-monsoon, strong southwesterlies wind, and water vapor flux are established around (24-29° N, 84-93° E), in P15-18 (March 12-31) over India and Bangladesh. The rainfall distribution map also has shown obvious change in P15-18, around northeast region. The important change has been observed between P31 and P32 during monsoon onset period. It has shown that strong southwesterlies wind and water vapor flux are drastically enhanced over the Bay of Bengal, and they continuously direct toward Bangladesh after this period. They are consistent with the area of abrupt increase in precipitation indicating the onset of summer monsoon.

Remarkable changes have also shown between P56 and P57, during the withdrawal period, at this time westerly flow has vanished not only in and around Bangladesh, but also in almost the whole Indian Ocean and Indian subcontinent.

The annual cycle of 5-day mean rainfall has shown heavy rainfall occurs in the northeast region (Sylhet) during the pre-monsoon and in the southeast

region (Teknaf) during the monsoon. The central west region (Ishurdi) receives relatively less rainfall in all seasons. During the pre-monsoon season, the rainfall peak is located at Sylhet in the northeast region, while it is located in the southeastern tip of Bangladesh at Teknaf after the monsoon onset. Although the prominent monsoon onset signal in Bangladesh is found in at Teknaf, large amount of rainfalls from pre-monsoon to post monsoon period at Sylhet cause severe flooding. Cluster analysis indicates that seasonal march of pentad mean precipitation at Sylhet station shows very unique pattern.

Recently it has shown that flooding hazard over Bangladesh is increasing. The disastrous floods in Bangladesh have captured world-wide attention. This study analyzed floods from 2000 to 2004 around the northeastern region in Bangladesh, using LANDSAT data with spatial resolution being 30 m by 30 m and RADARSAT data with spatial resolution of 50 m by 50 m. RADARSAT data, GIS data, and ground data were used for the purpose of flood monitoring, mapping and assessing. A supervised classification technique was used for this processing. It is crucial for Bangladesh to monitor and assess the flood disaster flooded area using remote sensing and GIS technique which may reduce the cost of general survey and hazard mapping services.

The results imply that maximum extent of the inundation area as estimated using RADARSAT satellite imaging is about 29, 900.72 km² in 2004, the severest flood year, which corresponded well with the heavy rainfall and the highest water level of the Ganges-Brahmaputra-Meghna (GBM) Rivers. It has demonstrated that RADARSAT data acquired over Bangladesh have the ability to precisely assess and clarify inundation areas allowing for successful flood monitoring and mapping and disaster management. This study also presents unique flood hazard and flood damage maps, which are expected to be useful for future planning and flood disaster management.

学位論文審査の要旨

近年洪水が頻発して多大な被害が出ているバングラデシュにおいて、洪水の原因となる降雨をもたらす、夏季モンスーンの季節進行の実態を解明することや、洪水の広域の様相や被害状況を空間的に正確に把握することは、重要な研究課題である。従来より、アジアモンスーンに関する研究は多数行われてきたものの、その多くはインドやインドシナ半島、東アジアを対象としたもので、バングラデシュにおけるモンスーンの季節進行については、従来は降雨データによるモンスーンの開始・終了時期に関する研究がわずかになされているにすぎず、大気循環の季節変化や、降雨にみられる地域特性の把握は不十分であった。また、バングラデシュの中で、もっとも激しい洪水被害が生じているにもかかわらず、東北部における被害状況の実態把握も不十分であった。

本研究では、グローバルな客観解析による大気循環に関するデータと、バングラデシュ国内での詳細な日降水量データを用いて、バングラデシュにおけるモンスーンの入りと明けに

着目した詳細な季節進行の実態と、降雨の季節変化にみられる地域特性を解明する。また、バングラデシュの中でも特に洪水被害が激しい北東部を対象として、LANDSAT や RADARSAT によるリモートセンシングデータを用いた洪水地域の正確な把握や、GIS を用いた被害分布の詳細な実態把握をすることを目的として研究を行った。まず第 I 章においては、アジアモンスーンやバングラデシュにおける洪水の実態把握に関する研究を概観して問題点を明らかにし、本研究の位置づけを行った。

第 II 章においては、まずアジアモンスーンの季節進行に関する従来の研究を詳細に紹介して問題点を明らかにした。そして 1979 年～2003 年の 25 年間で平均した 6 時間毎のグローバルな客観解析による大気循環に関するデータと、バングラデシュ気象局の観測による、最長で 1948 年から 2008 年に至る 61 年間におよぶ日単位での降水量観測データを用いて、半月および 20 日平均をした各気象要素の時系列および空間分布を基に、夏季モンスーンの入り・明けの期日を決定すると共に、モンスーンに入る前のプレモンスーン期における特徴についても記述を行った。その結果、バングラデシュにおける平均的な夏季のモンスーン入りは、5 月 31 日から 6 月 4 日の第 31 半月と 6 月 5 日から 9 日の第 32 半月との間で起こり、明けは、10 月 3 日から 7 日の第 56 半月と 10 月 8 日から 12 日の第 57 半月の間に起こることが明らかになった。そしてこれらの季節変化は、下層風の南北成分の交替や、可降水量の急激な増加によって把握できることを明らかにした。さらに降雨の季節変化にみられる地域特性として、東北部に位置するシレット地点における、プレモンスーン季に特に降雨が多くなる特異性や、沿岸部にみられる地域特性を明らかにした。

第 III 章では、バングラデシュのようなモンスーン季には雲が多い地域における衛星リモートセンシング LANDSAT による洪水把握の限界性を指摘し、雲があっても陸上の水域が判別可能な RADARSAT を利用しての 2000 年～2004 年の洪水域を図化し、浸水面積を定量的に把握すると共に、地上での水位観測とも比較し、2004 年における洪水が特にひどかった事を明らかにした。そして 2004 年については、現地調査機関における洪水被害データの GIS による地図化を行ない、リモートセンシングデータによる浸水域との関係を明らかにした。

第 IV 章では、これら本研究で得られた新知見を先行研究と比較して考察を加え、新たに発見することができた点をまとめた。そして、最後の第 V 章には、本研究で得られた結論と今後の研究課題が示された。

このように本研究では、バングラデシュにおける夏季モンスーンの開始・終了期を中心とした平均的な季節進行についての詳細な記述を行ない、従来知られていたインドモンスーンとの違いを明らかにすると共に、バングラデシュ国内でもっとも激しい洪水被害を受けている北東部において、リモートセンシングと GIS による洪水の実態把握に成功しており、当該国における気候および洪水研究の進展に大きく貢献するものであり、博士學位論文として評価できる。

よって、本論文は、博士（理学）の学位を授与するに十分な価値を有するものと認められる。

氏名	Duong Du Bui
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	都市環境博 第60号
学位授与の日付	平成23年9月30日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	ベトナム紅河デルタにおける帯水層構造および地下水位トレンドの特性 評価（英文）
論文審査委員	主査 教授 河村 明 委員 教授 松本 淳 委員 准教授 横山 勝英

論文の内容の要旨

In the world, groundwater is the largest and most important source of potable water. Achieving sustainable management of groundwater resources is one of the essential objectives for the future of developing countries, especially when the rising demand for clean drinking water is considered. Groundwater management is particularly important in the Red River Delta, one of the two biggest deltas in Vietnam including the capital of Hanoi, because water supply in the delta greatly depends on groundwater due to the uneven distribution and unfavorable quality of the surface water. Aside from excessive groundwater exploitation and unwise management, inadequate understanding of the aquifer system and groundwater level characteristics has caused serious problems, such as drying up of shallow wells, water level decline, land subsidence, and groundwater pollution which threaten sustainable groundwater development in the delta.

Therefore, it is essential to investigate the spatial characteristics of the aquifer system and groundwater level trends in order to provide fundamental references for further groundwater analyses ensuring sustainable groundwater development in the Red River Delta. The main objectives of this study are: (1) to identify the aquifer framework and determine characteristics of the aquifer system in the delta; (2) to clarify the variation and spatial patterns of recent trends in groundwater levels of the identified aquifers. To achieve these goals, regional hydrogeological and groundwater monitoring databases for the entire delta were established, and then the aquifer system was identified and characterized by analyzing well logs and pumping test data. The non-parametric Mann-Kendall trend test and Sen's slope estimator were then utilized to detect possible trends and their slopes in groundwater levels. Finally, spatial patterns of the trends and trend slopes were elucidated using

Geographic Information System (GIS) and geo-statistical techniques.

This dissertation is composed of five chapters.

Chapter 1 is the introduction which contains the background, motivation, and objectives of this study. A comprehensive review of literature as well as a description of scopes and methods were also presented.

In chapter 2, the study area and data used in this study were described, taking into account the general geographic and hydro-climatic characteristics of the Red River Delta. This chapter also provided brief descriptions about establishment of National Hydrogeological Database, National Groundwater Monitoring Network, and National Groundwater Monitoring Database in Vietnam. From the Hydrogeological Database established, well log data (mostly about geologic strata, materials, and geological ages) of 778 boreholes in the Red River Delta were used to identify the aquifer frameworks, and then field data from 637 pumping tests out of 778 boreholes including specific capacity, specific yield of unconfined aquifers or storage coefficient of confined aquifers, and hydraulic conductivity or transmissivity were used to characterize the aquifer system and to estimate groundwater potential of each aquifer. Furthermore, groundwater levels during a period of 15 years (1995-2009) in 120 observation wells were selected from the Groundwater Monitoring Database for detecting their recent trends.

In chapter 3, the aquifer systems of the Red River Delta were identified and characterized. Comprehensive analyses of borehole data (i.e. well logs and hydrogeological parameters) for potential groundwater resources were conducted by creating and analyzing hydrogeological maps, cross sections, and contour maps of main aquifers' thickness and transmissibility. It was found that groundwater mainly exists in Quaternary unconsolidated sediments as porous water forming the topmost Holocene unconfined aquifer (HUA) and the shallow Pleistocene confined aquifer (PCA) sandwiching the Holocene-Pleistocene aquitard (HPA). Cleft and karst water exist in consolidated Neogene formations and Mesozoic rocks constituting the Neogene water bearing layer (NWL) and Mesozoic fractured zones (MFZ), respectively. It was also revealed that PCA and HUA are almost entirely distributed over the delta, and they serve as the highest groundwater potential and the most important aquifers for water supply. NWL and MFZ, which are placed below PCA but exposed on the surface outside the delta, are minor sources for local domestic water supply only.

In chapter 4, spatial patterns of recent trends in groundwater levels and their slopes were investigated for two main aquifers (i.e. HUA and PCA) by utilizing the non-parametric Mann-Kendall trend test and Sen's slope estimator. At each well, 17 time series (i.e. annual average, rainy and dry season average, annual maximum and minimum, and 12 time series for each month

across years) were computed from the original record of groundwater levels, and then used for trend analysis.

Before conducting the trend analysis, this study carried out some preliminary analyses to get an initial understanding of groundwater level fluctuation. These analyses indicated an overall flow from northwest to southeast (from inland to the sea) corresponding to the delta topography for both HUA and PCA. HUA has formed a cone of depression in Hanoi during the past 15 years, while large cones of depression of PCA had already existed in 1995 in urban areas (Hanoi, Haiphong, and Namdinh) and they were greatly expanded in 2009.

The results of the trend analysis of the annual time series revealed that 35% of the wells for HUA showed downward trends, while about 21% showed upward trends. Spatial analysis has highlighted that strong downward trends were mainly in Hanoi with slopes of about 0.3 m/year, whereas upward trends were found in coastal region, Hungyen province, and northern parts of the delta with slopes of around 0.1 m/year. On the other hand, the study revealed that groundwater levels of PCA have decreased in almost all wells with average slope of about 0.2 m/year. There was no upward trend at all. The areas which showed serious downward slope of more than 0.3 m/year have occupied almost 3,400 km² (about 25% of the delta). Although the trend results for the 17 time series at a given well were quite similar, different trend patterns were detected in several time series.

The chapter 5 presents overall conclusions, recommendations for groundwater management, and future works.

学位論文審査の要旨

本論文は、ベトナム紅河デルタの帯水層構造を空間的に同定し、紅河デルタの地下水資源ポテンシャルを評価するとともに、不圧および被圧帯水層の地下水位トレンド解析より、地下水位の低下・上昇トレンドを量的に求め、紅河デルタにおける近年の地下水位変動の空間的パターン特性を評価したものである。

ベトナム二大デルタの一つで首都ハノイを擁する紅河デルタにおいては、表流水である紅河の濁度が非常に高くかつ水質が悪いこと、また雨季・乾季における水量の変化が激しいことなどより生活用水のほとんどを地下水に頼っている。しかし近年、地下水の過剰汲み上げや不適切な地下水管理により、井戸枯れ、地下水位の低下や塩水化、地盤沈下、地下水汚染などの重大な問題が発生しており、紅河デルタにおける持続可能な地下水利用が脅かされている。

紅河デルタにおける地下水問題解決のためには、まず、その空間的な帯水層構造を把握し地下水資源のポテンシャルを評価することが必要不可欠である。また、各帯水層における地下水位の低下・上昇トレンドを推定し、地下水位変動の空間的特性を評価することは、紅河デルタにおける地下水資源の現状把握および将来予測の第一歩である。そのためには、地下水に関する様々な信頼できるデータ、すなわちボーリングによる地質データ、揚水試験データ、

地下水水質データ、地下水位データなどの収集・抽出が前提条件となる。しかし、これまで紅河デルタ全体の地下水関連データベースは存在せず、上記のような解析は非常に困難であった。

以上の背景の下、本論文では、まず、学位論文申請者が構築に係わった国家水文地質データベースから 778 地点もの詳細なボーリングデータを抽出し、紅河デルタ全体の帯水層などの空間的地下構造を同定するとともに、それらの地下水資源ポテンシャルを評価した。次に、同じく構築に係わった国家地下水モニタリングネットワークデータベースより、120 地点 15 年間分（1995 年～2009 年）の地下水位データを抽出し、各帯水層の地下水位トレンドの検定を行い、それぞれの帯水層の地下水位低下・上昇トレンドを量的に解析し、地下水位変動の空間的パターンを明らかにした。

本論文で得られた主要な成果は、以下の通りである。

(1) 紅河デルタのボーリング地点に沿った水文地質断面図並びに主要な帯水層の層厚や透水（量）係数の等高線図を作成しその空間的地下構造を同定した。その結果、紅河デルタは中生代の基盤の上に新第三紀地下水保持層（NWL）があり、そして表層を形成する第四紀の完新世不圧帯水層（HUA）および地下の浅い部分に存在する更新世被圧帯水層（PCA）が完新世－更新世不透水層（HPA）によって隔てられていることを示し、それらの空間分布を明らかにした。

(2) 紅河デルタの地下水ポテンシャルとしては PCA が最も高く、次いで HUA が高いことを示す一方、NWL および中生代破碎帯（MFZ）の地下水ポテンシャルは低いことを示した。

(3) HUA および PCA の地下水位モニタリングデータより、各年の平均地下水位、乾季・雨季平均地下水位、年最大・年最小地下水位、各月毎の地下水位から成る 17 種類の地下水位時系列を作成し、これらの時系列を対象に、Mann-Kendall トrend検定を行った。そして、トレンドが 5% 有意となった時系列に対してはその勾配を Sen の方法で推定し、それぞれの帯水層の地下水位低下・上昇トレンドを量的に解析しその空間変動を明らかにした。

(4) 年平均地下水位時系列に対し、HUA については、地下水観測井の約 35% で低下トレンドを示す一方、約 20% の井戸では上昇トレンドとなることを示した。そして、特にハノイ市周辺では年間約 0.3m もの低下トレンドとなること、逆に沿岸域や紅河デルタ北部などでは年間 0.1m の上昇トレンドとなることを示した。

(5) PCA については、上昇トレンドは検出されず、ほとんどの観測井で平均年間約 0.2m の低下トレンドとなることを示した。そして、低下トレンドの空間分布より年間 0.3m 以上の低下トレンドとなる面積が 3,400km²（紅河デルタの約 25%）にも及ぶことを明らかにした。なお、17 種類の時系列間で結果に大差はないことを確認した。

以上要するに、本論文は、構築した地下水関連データベースより、ベトナム紅河デルタの地下帯水層構造を空間的に同定し、その地下水資源ポテンシャルを評価するとともに、不圧および被圧帯水層地下水位について、近年の低下・上昇トレンドの空間分布特性を評価したものであり、地下水文学および水資源工学分野における貢献は極めて大きい。

よって、本論文は、博士（工学）の学位を授与するに十分な価値を有するものと認められる。

氏名	齋藤 崇実
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	都市環境博 第61号
学位授与の日付	平成23年9月30日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	リチウムイオン電池用高出力電極のための電極反応メカニズム解析
論文審査委員	主査 教授 金村 聖志 委員 教授 内山 一美 委員 准教授 梶原 浩一

論文の内容の要旨

リチウムイオン二次電池は高電圧、高エネルギー密度、長寿命、自己放電が少ない等の利点から、ビデオカメラ、携帯電話、ノートパソコンなどの携帯電子機器用電源として広く使用されている。また、最近では電気自動車（EV）やハイブリッド電気自動車（HEV）用電池として実用化、市販化が開始されたところである。

自動車用リチウムイオン電池においては、大電流での充放電を行う事から、抵抗が低い（高出力である）事が求められる。リチウムイオン電池を高出力化するためには、電池内での分極現象を正確に理解する必要があるが、従来の複合多孔質電極を用いる方法では電極活物質そのものの分極現象を正確に測定する事は難しかった。そこで、本論文では、単粒子測定手法によるリチウムイオン電池用正極活物質評価を行い、一般的な複合多孔体電極の測定では正しく評価できない、正極活物質が本来有している特性を評価する事を目的として種々の実験を行った。これによって、活物質本来の特性を理解する事で、高性能な電気自動車用電池の設計に貢献する事を最終的な目的とする。

第二章において、単粒子測定による交流インピーダンス測定を可能にする事を目的とし、単粒子測定装置のノイズ対策を行った。従来の測定装置では商用電源由来の50Hz周期の大きなノイズがのっており、そのままではインピーダンス測定が不可能であった。ノイズ対策を行う事によって、対策前の130mV程度のノイズを数mVまで抑制する事が出来た。従来との大きな変更点は以下の2点である。

- ・測定装置をグローブボックス内に入れ測定線を短くする事
- ・測定線にシールド処置を行い測定装置のグラウンドに接続する事

これらの対策により、単粒子測定に種々の電気化学的測定手法を適用可能な測定環境を構築する事ができた。

第三章において、第二章で完成させた単粒子測定装置を用いてLiMn₂O₄材料の定電流充放電、交流インピーダンス、ポテンシャルステップ法による測定を行った。上記測定によって、固体内Li⁺拡散速度および、電荷移動抵抗と交換電流密度の電位依存性を検討した。定電流分極試験の結果から80C程度のハイレートでもLi⁺の拡散は容量を維持するのには十分に速い事が分かった。定電流分極試験および交流インピーダンス測定の両手法によって交換電流

密度を求めた。両手法から求めた交換電流密度に若干の違いが見られたが、大きな差ではなく $1 \sim 4 \text{ mA/cm}^2$ の範囲の値が得られた。交流インピーダンス測定から LiMn_2O_4 の電圧と交換電流密度に相関がある事が分かった。その相関は LiMn_2O_4 の反応形態に依存しており、電圧の高い2層反応領域では交換電流密度が大きく、電圧が低い単層反応領域では交換電流密度が小さい結果となった。本章の結果から、単粒子測定における交流インピーダンス測定は、活物質本来の特性を測定するために有用な方法である事が証明された。

第四章において、温度制御可能な短粒子測定装置を用いて LiCoO_2 単粒子活物質の高温劣化について検討を行った。 LiCoO_2 はリチウムイオン電池用正極材料のなかでも最も一般的に使用されている正極活物質であり、リチウムイオン電池全体の74%が正極に LiCoO_2 を用いたものである。第4章では LiCoO_2 正極の高温での劣化に注目し、高温保存および高温充放電が LiCoO_2 の充放電特性に与える影響について検討を行った。その結果、 LiCoO_2 は 60°C 程度の高温で充放電を行うと大きな劣化が進行する事、 60°C 保存だけでは劣化が進行しない事が分かった。これらの結果から 60°C の高温下でリチウムイオンの授受、挿入、脱挿入を行う事で LiCoO_2 粒子に劣化反応が起こったと考えられる。劣化の原因として、高温充放電時の活物質自身の膨張収縮による割れや、活物質表面のSEI皮膜の破壊による表面性情の変化などが考えられる。

第五章において第四章と同様、温度制御可能な短粒子測定装置を用いて LiFePO_4 の高温劣化について検討を行った。種々の温度で LiFePO_4 単粒子の充放電を行った結果、高温ほど高レートでの放電容量維持率が高い結果が得られた。これは、高温ほど固体内のリチウムイオンの拡散速度が速くなるためと考えられる。 LiCoO_2 粒子では、高温充放電を経ることによって劣化が進行するという結果が得られたが、 LiFePO_4 粒子では 60°C 程度の高温充放電では全く劣化が進行しない事が分かった。

本研究の結果、単粒子インピーダンス手法によって、活物質の交換電流密度の電圧依存性を求める事が出来るようになった。本手法を LiMn_2O_4 に適用した結果、 LiMn_2O_4 では高電圧な2相反応領域において交換電流密度が大きい事が分かり、高出力を得るためには高電圧な2相反応領域で使用すれば良い事が分かった。また、高温単粒子測定によって、 LiCoO_2 は高温充放電によって大きく劣化する事、 LiFePO_4 は高温ではほとんど劣化しない事が分かった。これらの結果は長寿命が求められる電気自動車用電池の寿命設計や温度制御において有用な結果が得られたと考えられる。

学位論文審査の要旨

リチウムイオン二次電池は高電圧、高エネルギー密度、長寿命、自己放電が少ない等の利点から、ビデオカメラ、携帯電話、ノートパソコンなどの携帯電子機器用電源として広く使用されている。また、最近では電気自動車 (EV) やハイブリッド電気自動車 (HEV) 用電池として実用化、市販化が開始されたところである。

自動車用リチウムイオン電池においては、大電流での充放電を行うため、抵抗が低い (高出力である) 特性が求められる。リチウムイオン電池を高出力化するためには、電池内での分極現象を正確に理解する必要があるが、従来の複合多孔質電極を用いる方法では電極活物質そのものの分極現象を正確に測定できない。

そこで、本論文では、単粒子測定手法によるリチウムイオン電池用正極活物質の評価を行

い、一般的な複合多孔体電極の測定では正しく評価できなかった、正極活物質が本来有している特性を評価することが可能となった。その結果、活物質本来の特性を理解することで、高性能な電気自動車用電池の設計に貢献するための多くの知見を得た。

第二章においては、単粒子測定による交流インピーダンス測定を可能にすることを目的とし、単粒子測定装置のノイズ対策を行った。従来の測定装置では商用電源由来の 50 Hz 周期の大きなノイズが影響し、そのままではインピーダンス測定が不可能であった。ノイズ対策により、対策前の 130 mV 程度のノイズを数 mV まで抑制することが出来た。従来との大きな変更点は以下の 2 点である。

- ・測定装置をグローブボックス内に入れ測定線を短くする
- ・測定線にシールド処置を行い測定装置のグラウンドに接続する

これらの対策により、単粒子測定において、種々の電気化学的測定手法を適用しうる環境を構築することができた。

第三章においては、この単粒子測定装置を用いて LiMn_2O_4 材料に対して、定電流充放電、交流インピーダンス測定、ポテンシャルステップ法による測定を行った。これらの研究から、固体内 Li^+ イオンの拡散速度、電荷移動抵抗、交換電流密度の電位依存性を検討した。定電流分極試験の結果から 80 °C 程度のハイレートでも Li^+ イオンの拡散は容量を維持するに十分に速いことが分かった。定電流分極試験および交流インピーダンス測定の両手法によって交換電流密度を求めた。両手法から求めた交換電流密度に若干の違いが見られたが、大きな差ではなく $1 \sim 4 \text{ mAcm}^{-2}$ の値が得られた。交流インピーダンス測定から LiMn_2O_4 の電位と交換電流密度に相関があることが分かった。交換電流密度は LiMn_2O_4 の反応形態に依存しており、電圧の高い 2 相反応領域では大きく、電圧が低い単相反応領域では小さい結果となった。これらの結果から、単粒子測定における交流インピーダンス測定が、活物質本来の特性を測定するために有用な方法であることが証明された。

第四章において、温度制御可能な単粒子測定装置を用いて LiCoO_2 単粒子活物質の高温劣化について検討を行った。 LiCoO_2 はリチウムイオン電池用正極材料のなかでも最も一般的に使用されている正極活物質である。その結果、 LiCoO_2 は 60 °C 程度の高温で充放電を行うと大きな劣化が進行すること、60 °C 保存だけでは劣化が進行しないことが分かった。これらの結果から 60 °C の高温下でリチウムイオンの挿入・脱離を行うことで LiCoO_2 粒子の劣化反応が生じたと考えられる。劣化の原因として、活物質表面の SEI 皮膜の破壊による表面性状の変化などが考えられる。

第五章においては、 LiFePO_4 の高温劣化について検討を行った。種々の温度で LiFePO_4 単粒子の充放電を行った結果、高温ほど高レートでの放電容量維持率が高くなることが分かった。高温ほど固体内の Li^+ イオンの拡散速度が速くなるためと考えられる。 LiCoO_2 粒子では高温での充放電により劣化が進行するが、 LiFePO_4 粒子では 60 °C 程度の高温における充放電では全く劣化が進行しないことが分かった。

本研究により、単粒子インピーダンス手法によって、活物質の交換電流密度の電圧依存性を求めることが出来るようになった。本手法を LiMn_2O_4 に適用した結果、 LiMn_2O_4 では高電圧な 2 相反応領域において交換電流密度が大きいことが分かり、高出力を得るためには高電圧な 2 相反応領域を使用すればよいことが分かった。また、高温単粒子測定によって、 LiCoO_2 は高温充放電によって大きく劣化すること、 LiFePO_4 は高温ではほとんど劣化しないことが

分かった。これらの結果は長寿命が求められる電気自動車用電池の寿命設計や温度制御において有用な知見である。

以上より、本学の博士の学位(工学)を授与するに十分な内容を有しているものと判断する。

氏名	保科 圭吾
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	都市環境博 第62号
学位授与の日付	平成23年9月30日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	固体電解質 / 固体電極活物質界面制御と界面反応機構に関する研究 (英文)
論文審査委員	主査 教授 金村 聖志 委員 准教授 武井 孝 委員 准教授 梶原 浩一

論文の内容の要旨

リチウム二次電池はモバイル機器用電源として広く利用されており、今後は車載用や定置用電源など中大型用途への応用が期待されている。電池を大型化する際、その安全性が懸念される。リチウム二次電池は電解液に可燃性有機溶媒を用いており、内部短絡時や過充電時など異常時に発火・破裂の恐れがある。この課題の解決法の一つとして固体電解質の使用が挙げられる。特にセラミックス固体電解質を用いると、発火・破裂の危険性が無い安全なリチウム二次電池を作製することが可能となる。しかしながら、一般的にセラミックス固体電解質を用いた全固体リチウム二次電池は、固体電解質 / 固体電極活物質界面の抵抗が大きいことが知られている。今後、全固体リチウム二次電池を実用化するには、固体電解質 / 固体電極活物質界面における抵抗を低減することが重要となる。

本論文では全固体リチウム二次電池の固体電解質 / 固体電極活物質界面制御と、その界面反応機構に関する研究を行った。1章において、全固体リチウム二次電池および固体電解質についての概要および本論文での目的を記した。本論文では酸化物系および燐酸化合物系セラミックス固体電解質に着目し、固体電解質 / 固体電極活物質界面を作製し、その界面における電気化学特性を調査した。さらに三次元規則配列多孔体 (Three dimensionally ordered macroporous : 3DOM) 構造を有する酸化物系固体電解質および全固体リチウム二次電池の作製およびその評価を行った。酸化物系固体電解質としては $\text{Li}_{0.35}\text{La}_{0.55}\text{TiO}_3$ (LLT) を選択し、燐酸化合物系固体電解質としては $\text{Li}_{1+x}\text{Al}_x\text{Ti}_{2-x}(\text{PO}_4)_3$ (LATP) を選択した。これらの電解質はリチウムイオン導電率が高く室温での導電率は $1 \times 10^{-4} - 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ を示す。これは全固体リチウム二次電池を作製する上で実用化可能な値と考えられる。

本論文の2章および3章において、ゾルゲル法により固体電解質 / 負極活物質および正極活物質界面を作製し、その評価を行った。2章では負極活物質としてスピネル構造を有する $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ およびアナターゼ構造を有する TiO_2 を LATP 基板上に作製した。3章では正極活物質としてスピネル構造を有する LiMn_2O_4 を LATP 基板上に、 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ を LLT および LATP 基板上に作製した。2章および3章において、ゾルゲル法により作製された固体電解質 / 負極活物質および正極活物質界面は、リチウム挿入脱離反応が可能であることを確認した。

LATP 固体電解質 / $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 界面でのリチウム挿入脱離反応における電荷移動抵抗は、電位依存性が小さくどの電位においても $1000\text{--}2000 \text{ } \Omega \text{ cm}^{-2}$ であることが確認されたことより、固体電解質 / 固体電極活物質界面では、電解液 / 電極活物質界面とは異なる電荷移動挙動を示すことが示唆された。以上の結果を鑑みると、界面における反応面積を増加させることが、固体電解質 / 固体電極活物質界面での抵抗低減に有効な方法であると考えられる。

4章において、コロイド鋳型法により 3DOM 構造を有する固体電解質および全固体リチウム二次電池の作製およびその評価を行った。3DOM 構造を有する固体電解質を用いることにより、固体電解質 / 固体電極活物質界面の面積を増加させることができる。4章で 3DOM 構造を有する LLT において結晶内のイオン導電率が室温において $2.1 \times 10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$ であることを確認した。また、正極、負極ともに 3DOM 構造を有する電極とするため、緻密な LLT 層を 3DOM 構造を有する LLT 層で挟み込み、3層構造の LLT を作製した。3層構造を有する LLT を作製する際、LLT 前駆体サイズを $100\text{--}200 \text{ nm}$ とすることで、緻密な LLT 層を十分に焼結させ、かつ 3DOM 層のポアサイズが均一になることを確認した。緻密層の厚さは $10 \text{ } \mu\text{m}$ 、3DOM 層の厚さは $40 \text{ } \mu\text{m}$ とした。両面の 3DOM 構造 LLT 層に LiMn_2O_4 を充填することにより、全てセラミックスで構成された全固体リチウム二次電池を作製した。 LiMn_2O_4 はリチウムの挿入および脱離が可能のため、正極および負極活物質として使用できる。この 3DOM 層に LiMn_2O_4 を充填した全固体リチウム二次電池において、充放電挙動を確認した。一般的な全固体リチウム二次電池の電極厚さが数 μm であるのに対し、本研究では $40 \text{ } \mu\text{m}$ と厚い電極においても充放電挙動が観察されたことから、固体電解質 / 固体電極活物質界面の構造制御により全固体リチウム二次電池の抵抗低減効果が示された。

学位論文審査の要旨

リチウム二次電池はモバイル機器用電源として広く利用されており、今後は車載用や定置用電源など中大型用途への応用が期待されている。電池を大型化する際、その安全性が懸念される。リチウム二次電池は電解液に可燃性有機溶媒を用いており、内部短絡時や過充電時など異常時に発火・破裂の恐れがある。この課題を解決する方法の一つとして固体電解質の使用が挙げられる。特にセラミックス固体電解質を用いると、発火・破裂の危険性が無い安全なリチウム二次電池を作製することが可能となる。しかしながら、一般的にセラミックス固体電解質を用いた全固体リチウム二次電池では、固体電解質 / 固体電極活物質界面の抵抗が大きいことが知られている。今後、全固体リチウム二次電池を実用化するには、固体電解質 / 固体電極活物質界面における抵抗を低減することが重要となる。

本論文では全固体リチウム二次電池の固体電解質 / 固体電極活物質界面制御と、その界面反応機構に関する研究を行った。固体電解質としては酸化物系および燐酸化合物系セラミックスに着目し、固体電解質 / 固体電極活物質界面を作製し、その界面における電気化学特性を調査した。さらに三次元規則配列多孔体 (Three dimensionally ordered macroporous : 3DOM) 構造を有する酸化物系固体電解質および全固体リチウム二次電池の作製およびその評価を行った。酸化物系固体電解質としては $\text{Li}_{0.35}\text{La}_{0.55}\text{TiO}_3$ (LLT) を選択し、燐酸化合物系固体電解質としては $\text{Li}_{1+x}\text{Al}_x\text{Ti}_{2-x}(\text{PO}_4)_3$ (LATP) を選択した。これらの電解質はリチウムイオン導電率が高く室温での導電率は $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ を示す。これらの値は全固体

リチウム二次電池を作製する上で実用化可能な値と考えられる。

まず、ゾルゲル法により固体電解質 / 負極活物質および正極活物質界面を作製し、その評価を行った。負極活物質としてスピネル構造を有する $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ およびアナターゼ構造を有する TiO_2 を LATP 基板上に作製した。正極活物質としてスピネル構造を有する LiMn_2O_4 を LATP 基板上に、 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ を LLT および LATP 基板上に作製した。ゾルゲル法により作製された固体電解質 / 負極活物質および正極活物質界面は、リチウム挿入脱離反応が可能であることを確認した。LATP 固体電解質 / $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 界面でのリチウム挿入脱離反応における電荷移動抵抗は、電位依存性が小さくどの電位においても $1000 \sim 2000 \ \Omega \ \text{cm}^{-2}$ であることが確認された。この結果より、固体電解質 / 固体電極活物質界面では、電解液 / 電極活物質界面とは異なる電荷移動挙動を示すことが示唆された。以上の結果から、固体と固体からなる界面の量を増加させることが、固体電解質 / 固体電極活物質界面での抵抗低減に有効な方法であることが示唆された。

そこで、次にコロイド鑄型法により 3DOM 構造を有する固体電解質および全固体リチウム二次電池の作製およびその評価を行った。3DOM 構造を有する固体電解質を用いることにより、固体電解質 / 固体電極活物質界面の面積を増加させることができる。3DOM 構造を有する LLT において結晶内のイオン導電率が室温において $2.1 \times 10^{-4} \ \text{S} \ \text{cm}^{-1}$ であることを確認した。また、緻密な LLT 層を 3DOM 構造を有する LLT 層で挟み込み、3層構造の LLT を作製した。3層構造を有する LLT を作製する際、LLT 前駆体サイズを $100 \sim 200 \ \text{nm}$ とすることで、緻密な LLT 層を十分に焼結させ、かつ 3DOM 層のポアサイズが均一になることを確認した。緻密層の厚さは $10 \ \mu\text{m}$ 、3DOM 層の厚さは $40 \ \mu\text{m}$ とした。次に、両面の 3DOM 構造 LLT 層の空隙に LiMn_2O_4 を充填することにより、全てセラミックスで構成された全固体リチウム二次電池を作製した。 LiMn_2O_4 はリチウムの挿入および脱離が可能のため、正極および負極活物質として使用できる。3DOM 層に LiMn_2O_4 を充填した全固体リチウム二次電池において、充填率が 15% にもかかわらず充放電挙動が確認された。一般的な全固体リチウム二次電池の電極厚さが数 μm であるのに対し、本研究では $40 \ \mu\text{m}$ と厚い電極においても充放電挙動が観察されたことから、固体電解質 / 固体電極活物質界面の構造制御により全固体リチウム二次電池の抵抗低減効果が示唆された。

以上より、本論文では固体電解質 / 固体電極活物質界面を作製し、その電気化学特性評価を行った。さらに 3DOM 構造を有する電極を用いた全固体リチウム二次電池を作製し、その充放電挙動を確認した。これらの結果は 3DOM 構造体を用いて反応面積を増加させた全固体リチウム二次電池の有効性を示すものであると同時に、今後の全固体リチウム二次電池開発に有意義な知見を与えている。以上より、本学の博士の学位（工学）を授与するに十分な内容を有しているものと判断する。

氏名	TAN KWEK TZE
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	シス博 第26号
学位授与の日付	平成23年9月30日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	縫合 CFRP 積層板の衝撃損傷許容特性と性能（英文）
論文審査委員	主査 教授 渡辺 直行 委員 准教授 北 蘭 幸 一 委員 教授 若 山 修 一 委員 教授 末 益 博 志（上智大学）

論文の内容の要旨

This thesis aims to comprehensively understand the performance of through-thickness stitching in enhancing impact damage tolerance of advanced composite materials. Investigation work is focused on examining the effectiveness of stitching, the influence of stitch parameters like stitch density and stitch thread thickness, and the damage mechanisms and fracture phenomena involved in the impact damage tolerance of stitched composites. Prior to the work on impact tolerance, fundamental understanding on the effectiveness of stitch fibre bridging, and basic insight on the impact damage of stitched composites are carried out.

Introduction and exhaustive literature review on stitched composite materials are presented in Chapter 1. Literature survey covers work done by researchers in the field of stitched composites, focusing on interlaminar toughness, impact resistance and compression after impact tolerance.

Investigation on the bridging law of a single stitch fibre is described in Chapter 2. A novel Interlaminar Tension Test (ITT) is performed to experimentally investigate the bridging and fracture process of a single stitch fibre. Critical empirical force and displacement parameters, which governed the stitch fibre bridging law, are characterized and identified. Relationships of such parameters with thread thicknesses are determined.

Experimental and computational work on the bridging effect of stitched composites in terms of mode I interlaminar fracture toughness (G_{IC}) is demonstrated in Chapter 3. Critical strain energy release rates are measured by performing the double cantilever beam test. Results revealed that the value of G_{IC} and stitch density or stitch fibre volume fraction holds a linear relationship. The finite-element (FE) model of the stitched composite incorporates a novel four-step stitch fracture process, namely, interfacial debonding, slack absorption, fibre breakage, and pullout friction. The FE predictions indicate excellent agreement with the experimental results.

The study of impact damage of stitched composites is investigated and presented in Chapter 4. *Impact damage resistance* is first studied by examining the extent of impact-induced delamination area using ultrasonic c-scan analysis. It is revealed that higher stitch density

is more capable of impeding delamination growth by arresting cracks at closer interval and suppressing crack propagation. *Impact damage response* is then analyzed from the impact history response curves, demonstrating that the onset of delamination is not influenced by stitch density and stitch thread thickness, but the maximum impact force is related to the delamination size of the laminates, which is sequentially related to stitch parameters. Finally *impact damage mechanisms* are elucidated by employing x-ray radiography and micro-computed tomography to reveal sub-surface damages, primarily dominated by intralaminar matrix cracks, interlaminar delamination, and stitch fiber/matrix debonding. It is revealed that stitches act as crack initiation sites, due to the presence of weak resin-rich pockets around stitch threads, thus inevitably resulting in densely stitched composites having more stitch-induced matrix cracks upon impact loading. Contrarily, specimens with higher stitch density and thread thickness are more capable of impeding delamination growth. It is found out that the principal mechanisms responsible for impact resistance performance of stitching are namely *crack arresting and crack bridging*.

Furthermore in Chapter 4, a novel empirical-based Delamination Reduction Trend (DRT) is developed and identified. The DRT simply relates the normalized delamination area and stitch fibre volume fraction to characterize the effectiveness of stitching in impact damage suppression. The DRT is justified with experimentally observed mechanisms. DRT is also validated with numerous published literature results, showing excellent agreement.

The work on impact damage tolerance which mainly comprises of investigating the compression after impact (CAI) performance of stitched composites by experimental testing and FE simulation is described in Chapter 5. Experimental results convincingly show that densely stitched composites have higher CAI strength, mainly attributed to the effectiveness of stitch fibre bridging and numerous stitch fibre breakages. Coupling relationships between CAI strength, impact energy, stitch density and stitch thread thickness are also revealed. Detailed x-ray radiography and post-mortem examinations are exemplified to substantiate these findings. FE CAI model incorporates the use of continuum shell elements and cohesive elements to model composite layers and delamination interfaces respectively. Hashin damage failure criterion and traction-separation law is employed to simulate failure for the composite layers and interfaces respectively. FE model prediction of CAI strength exhibits reasonably good agreement with experimental data.

The thesis is summarized and concluded in Chapter 6. Future work and possible applications have also been highlighted in this Chapter. Given the great effectiveness in strengthening interlaminar interfaces, as well as the high resistance to impact damage, it is concluded that stitching has its capabilities in enhancing the impact damage tolerance of CFRP laminates. Stitching has proven to be an effective interlaminar reinforcement technique to resolve delamination susceptibility in composite structures. From the results of this thesis, stitching is considered indeed a valuable technique forward in the field of composite materials for the pursuit and realization of lighter yet stronger new generation aircraft structures.

学位論文審査の要旨

本学位申請論文に関して、公聴会および2回の審査会を開催し、論文の内容に関する慎重な審査を行った。審査結果について以下のように報告する。

現在、繊維をプラスチックで固めた繊維強化複合材は、航空宇宙分野のみならず一般産業にも広がり、様々な所に使われている。特に航空宇宙分野における構造には、軽量かつ高剛性、高強度であるCFRP(炭素繊維強化複合材)構造が不可欠となっている。これらの複合材構造は、ほとんどが薄いプリプレグを二次元に積層した積層板と呼ばれるものであり、最大の問題点は、堅いものを落とす等の衝撃荷重を受けると、プリプレグどうしの層間が剥がれ(層間剥離)、圧縮荷重を受けた時の強度が著しく低下することである。これをCAI(Compression after Impact)強度といい、CAI強度を改善するための効果的な方法の一つに縫合技術がある。これは、層間あるいは厚さ方向に繊維束を通し、繊維を三次元化することにより層間剥離を抑制するものである。

本論文の研究目的は、先進複合材の耐衝撃損傷性を高めるための縫合CFRP積層板の特性を把握することにある。縫合密度、縫合糸の太さ等の影響を含め、縫合糸の架橋特性、衝撃荷重を受けた際の微視的および巨視的な損傷メカニズム、層間剥離を含む積層板のCAI強度およびその破壊挙動等を総合的に検討し解明した。

本論文によって得られた成果を以下にまとめる。

(1) 層間引張試験により、縫合糸の架橋特性および破壊挙動を実験的に把握し、それを支配するいくつかの要因について考察した。

(2) 縫合パラメタを含む試験片に対しDCB(double cantilever beam)試験を行い、モードI層間破壊靱性を取得した。層間引張試験の結果を考慮して破壊挙動を把握し、また縫合密度と破壊靱性が比例関係にあることを明らかにした。縫合糸の種類による特性変化を両試験結果から検討し、ケブラおよび炭素繊維に比べベクトラン繊維が著しく有効であることを示した。縫合糸の4段階の破壊特性を考慮した有限要素法解析手法を新たに提案し、実験結果を精度良く予測した。

(3) 衝撃荷重負荷後の縫合積層板に対し超音波探傷装置を用いた詳細な観察を行い、層間剥離特性を解析し、縫合密度と衝撃エネルギーの関係を把握した。また、X線およびCT探傷装置を用いた観察から、マトリックスクラック、縫合糸近傍の微視的損傷モードを明らかにし、縫合糸がそれらの終点および起点の両方となること、縫合密度の高い積層板ではより多くの微視的損傷が起りエネルギーを吸収すること等を把握した。

(4) 本研究の実験結果および過去の既存のデータを検討することにより、縫合積層板に対し、縫合密度および衝撃エネルギーと層間剥離面積の関係を明らかにし、経験則を新たに提案した。このことにより精度良い予測が簡便に可能となる。

(5) 衝撃負荷後の縫合積層板について圧縮試験を行い、CAI強度を得た。縫合密度、積層板厚さ、衝撃エネルギー、層間剥離面積をパラメタとし、破壊荷重、破壊挙動、試験中の層間剥離の進展などを考察した。縫合糸の架橋効果と破断によるエネルギー吸収により、高い縫合密度の積層板は大きな耐衝撃特性を示すことを明らかにした。また、結合力要素と連続体シェル要素を用いた有限要素法によるCAI強度解析を行い、縫合糸の影響を含めて実験結果を定性的に説明した。

以上のように、本論文は、縫合 CFRP 積層板の層間剥離特性および衝撃破壊挙動を解明し、縫合技術がそれらの抑制にたいへん有効であることを示した。従って、それらを用いた実用構造部材の設計、製作に大きく寄与することが期待される。また、積層板以外の複合材構造へも本成果は応用可能であり、その工業的価値は極めて大きい。よって本論文は、博士（工学）の学位を授与するに値するものと認められる。

（最終試験又は試験の結果）

本学の学位規則に従い、最終試験を行った。公開の席上で論文発表を行い、質疑応答を行った。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。

氏名	大石 政裕
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	シス博 第27号
学位授与の日付	平成23年9月30日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	受信信号を用いた基準信号サンプリングによるパルス型 レーザー測距システムに関する研究
論文審査委員	主査 教授 長 澤 親 生 委員 教授 阿 保 真 委員 教授 貴 家 仁 志 委員 教授 田 川 憲 男

論文の内容の要旨

光波測距儀は、光がターゲットまでを往復する時間を測定し、光の速度に基づいて2点間の距離を測定するものである。直接に2点間の距離を測定できる光波測距儀の登場は、それまでの測量分野における基準点測量を間接的な距離測定である三角測量から三辺測量へと一変させる大きなエポックであった。

特に近年は、コーナーキューブ（プリズム）を用いた測距から、コーナーキューブではなく自然対象物を用いた測距へと要求が広まってきている。自然対象物からの反射散乱光を検出するこの種の測定では、コーナーキューブからの反射光に比べ著しく受光効率が悪く、光源に大きな出力を必要とする。更に、測定対象物の形状測定時には、多くのポイントを測定することから測距の高速化も要求される。従来の光波測距儀で使用されている位相差方式は連続変調光源を必要としており、その出力では十分なS/Nを確保できないため、解決策として高い尖頭値パワーを持つパルスレーザー光源の採用が考えられる。しかし、パルス光による測定では、ターゲットまでの光の往復時間は反射パルス光の受信時刻情報として得られるため、位相差方式のヘテロダイン法のような時間軸を拡大した位相差からの時間測定は行えず、受信時刻から直接計測しなければならない。光波測距儀に求められる数mmの精度を基準クロックの計数で求めるには、数100GHzと言う高い周波数が必要となるが、可搬性と広い温度範囲での使用が要求される光波測距儀への搭載は困難であり、現実的に搭載可能な数10～数100MHzの基準発振器では要求される精度を満たすことはできなかった。

このような背景から、本研究では新たな距離測定方式として、基準信号サンプリング方式を提案し、これに基づく測距システムを開発することを目指した。本方式では、正弦波の基準信号を受信信号の受信時刻でサンプリングし、基準信号に対する受信信号の位相情報を取得する。これにより、基準信号周期を高い時間分解能で内挿し、ターゲットまでの距離を高い精度で測定することが可能となる。通常の方法では、受信信号を基準信号でサンプリングするが、本提案は受信信号の受信時刻で基準信号をサンプリングするという、通常とは逆の発想に基づいている。本研究では、その検証にレーザー測距システムを用いたが、光以外のパルスを用いた距離計測へも広く活用できる手法である。

本研究における第一の目的は、基準信号サンプリング方式の第一段階として、発光ごとに

基準信号との位相関係が僅かずつずれる受信信号の受信時刻で基準信号をサンプリングすることで、基準信号を低周波の再生基準信号へと変換し、その位相情報を用い測距を行うアンダーサンプリング方式を提案・検証することである。第二の目的は、アンダーサンプリング方式における基準信号再生時のサンプリング点数の制御に関するものであり、群論におけるラグランジュの定理を適用し、パルスレーザー光源の発光周波数を決定する分周器の分周比を切り替えるという僅かなハードウェアの追加で、再生基準信号のサンプリング点数を必要に応じて削減し、アンダーサンプリング方式の測距を高速化することである。第三の目的は、基準信号を直交関係にある2つの正弦波信号とすることで、単一の受信信号の受信時刻でのサンプリングで基準信号に対する位相情報取得を可能とする、基準信号サンプリング方式を更に高速化した直交基準信号サンプリング方式を提案・検証することである。

本論文は、6章から構成されている。第1章では、本研究の背景、光波測距儀小史を述べ、本研究の概要を示す。第2章では、アンダーサンプリング方式を提案する。基準信号が低周波波形に変換される周波数変換過程の解析と信号処理系および実際の測距システムでの実験結果について述べる。また、基準信号の高調波成分およびサンプリングの等間隔性に起因する誤差についても解析した。この時の基準信号のサンプリング点数は100点であり、精度は±1mmを達成している。第3章では、サンプリングの等間隔性を乱す外部要因として大気揺らぎにより発生するシンチレーションを取り上げ、アンダーサンプリング方式への影響を軽減するデータ取得順について提案する。標本化間隔が位相変調を受けたときのアンダーサンプリング方式の測距値誤差を解析し、実際のシンチレーションを模した位相変調ノイズを用いて、低周波のドリフト増加が非連続的なデータ取得順とデータ並べ替えによって軽減されることを示した。第4章では、アンダーサンプリング方式へ群論におけるラグランジュの定理を適用した高速化手法を提案し、その原理と実験結果について述べる。サンプリング点数は10点となり、精度劣化を20%程度に抑えながら10倍の測距高速化を実現した。第5章では、直交基準信号サンプリング方式を提案する。アンダーサンプリング方式に対し100倍の測距高速化が可能なことを示した。更に、2つの基準信号の誤差に起因する精度の劣化に対しては、外部基準を用いない自己校正手法により、アンダーサンプリング方式とほぼ同等の精度を達成した。6章では2章から5章までで得られた結果を総括し、本研究によって得られた結論を述べ、残された研究課題について言及する。

学位論文審査の要旨

レーザー測距儀は、測定するターゲットまでのレーザー光の往復時間と光速より測距儀からターゲットまでの距離を測定するものであり、測量分野で広く用いられている。近年は、自然対象物を用いた測距や対象物の形状測定への要求が高まり、測距の高感度化と高速化が求められている。これまでの測距方式は、大きく位相差方式とパルス方式に分けられる。高速測定において十分なSN比を確保するためには、位相差方式では大出力の連続レーザー光を必要とし、パルス方式においては短パルスで高いピークパワーを持つパルスレーザー光を必要とする。また、従来方式ではターゲットまでの距離を数mmの精度で求めるには、数100GHzという高い周波数の基準クロックが必要となる。これらの手法では、可搬性と広い温度範囲での使用が要求される野外での光波測距儀への応用は困難であり、現実的に搭載可能な数10MHz～数100MHzの基準発振器では要求精度を満たすことはできなかった。

本論文では新たな距離測定方式として、基準信号サンプリング方式を提案し、これに基づく測距システムを開発することを目指している。本方式では、正弦波の基準信号をパルスレーザー光の受信時刻でサンプリングし、基準信号に対する受信信号の位相情報を取得することにより、基準信号周期を高い時間分解能で内挿し、ターゲットまでの距離を高い精度で測定することが可能となる。通常の測定方式では、受信信号を基準信号でサンプリングするが、本提案は受信信号の受信時刻で基準信号をサンプリングするという、通常とは逆の発想に基づいている。

本研究で得られた成果を整理すると、以下のようになる。

(1) 基準信号サンプリング方式の第一段階として、発光ごとに基準信号との位相関係が僅かずつずれる受信信号の受信時刻で基準信号をサンプリングすることで、基準信号を低周波の再生基準信号へと変換し、その位相情報を用い測距を行うアンダーサンプリング方式を提案・検証した。実証実験において信号処理系のみで精度 $\pm 0.3\text{mm}$ 、実際の測距では精度 $\pm 1\text{mm}$ 以下を達成した。

(2) 実際の測距に際して問題となる、大気揺らぎにより発生するシンチレーションに対し、アンダーサンプリング方式特有の誤差が発生するが、データの並び替えにより、それに起因する誤差を無視できるほどに軽減できることを示した。

(3) アンダーサンプリング方式における基準信号再生時のサンプリング点数の制御に関して、群論におけるラグランジュの定理を適用し、パルスレーザー光源の発光周波数を決定する分周器の分周比を切り替えるという僅かなハードウェアの追加で、再生基準信号のサンプリング点数を必要に応じて削減し、測定精度を維持したままで、アンダーサンプリング方式の1/10以下の測定時間で測定が可能なることを理論的および実験的に示した。

(4) 基準信号を直交関係にある2つの正弦波信号とすることで、単一の受信時刻でのサンプリングで位相情報取得を可能とする、直交基準信号サンプリング方式を提案した。これによりアンダーサンプリング方式に比べて100倍の高速化が可能であることを示した。またリニアリティの劣化により発生する誤差を自己校正手法により $\pm 2\text{mm}$ まで改善できることを示した。

これらの成果は、従来の方式にくらべ、レーザー測距儀の基準発振器の周波数、容積および重量をほとんど増やすことなく、高い精度と測定時間の大幅な短縮および測定距離の延長を実現するものである。

以上のように、本論文はレーザー測距技術の大幅な進展を促す新たな技術開発に関するものであり、測距・測量分野の発展に大きく寄与するばかりでなく光以外のパルスを用いた距離計測へも広く活用できる手法であり、工学的に重要な意義を有する。よって、本論文は博士（工学）の学位を授与するに十分な価値があると認められる。

(最終試験又は試験の結果)

本学の学位規則に従い、最終試験を行なった。公開の席上で論文発表を行ない、学内外から多数の出席者を得て多角的な討論を行なった。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行なった。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。

氏名	入江 喬介
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	シス博 第28号
学位授与の日付	平成23年9月30日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	超音波診断法の適用領域拡大のための新技術開発に関する研究
論文審査委員	主査 教授 田川 憲 男 委員 教授 長澤 親 生 委員 教授 阿保 真 委員 教授 八木 晋 一（明星大学）

論文の内容の要旨

超音波診断法は、レントゲン撮影やX線CTのようにX線被曝がないため産科領域においては必須の診断方法であり、また、MRIに比べ格段に低コストかつ操作性にすぐれていることから、腹部、心臓などの軟部組織の診断、特に癌などの疾患の診断に広く用いられている。しかし、軟部組織に比べて音響インピーダンスが格段に大きい骨を対象とする診断には適用が困難である。また、超音波診断は再現性に乏しいため、乳癌集団検診にはX線被曝の恐れのあるマンモグラフィーが公的に採用されている。さらに、CT、MRI等の検査で癌と診断された場合、該当部位の生体組織を採取して、光学顕微鏡などを用いた病理検査によって確定診断を行うという手順を踏まなければならない。このことは、被検者を長時間にわたって拘束するため、肉体的・精神的な負担となるばかりでなく、医療費増大の要因ともなっている。

本研究では、超音波診断法の上述の課題を提起し、その課題に対する技術的な解決方法を提案する。これまで困難とされてきた超音波による骨の画像診断技術、再現性の高い超音波乳癌検診システムとその画像表示技術、そして従来の組織採取による病理検査を不要とする生体内超音波顕微鏡技術を構築して、これらの性能を実験によって検証する。

本論文は、全部で6章から構成され、その要旨は以下のとおりである。

第1章は序論であり、本研究の背景について述べるとともに、本研究の位置づけを明らかにする。

第2章では、現在の診断技術の課題を整理するとともに、それらを解決するために検討すべき基本的な考え方や方策、及びそのために必要な技術や手段の概要を述べる。

第3章では、骨の画像診断を可能とする骨内部の超音波画像化技術を提案する。骨を対象とする超音波による画像化は、照射超音波の透過波を計測する透過法によって算出される超音波の音速及び減衰量を利用して行われている。しかし、この画像化は診断が目的ではなく、特性測定を行うための位置決め用いられているにすぎない。また透過法では被検組織を2個の探触子で挿入して測定や描画を行うため、簡潔な内部構造により超音波の反射・屈折・減衰の影響を受け難い足や腕などの骨には適用可能であるものの、構造が複雑な腰や腹部及び胸部などへの適用は困難である。したがって、照射超音波の画像化対象からの反射波を計測

する反射法によっても可能な診断法を構築する必要がある。そこで本研究では、超音波の音速や単純な減衰量に代えて、減衰の周波数特性を利用する画像化法を検討した。診断の可能性を探るためには、数百kHzから数MHzにわたる広範囲の周波数特性の計測が必要である。そのような広い帯域を単体で計測可能な汎用の探触子は存在しないため、圧電共振と機械共振を併用する構造の広帯域超音波探触子を、本研究専用に考案・製作し、異なる帯域を有する複数の探触子を取り換えながら計測するのに比べて効率的な画像化を可能にした。画像化実験の結果から、減衰の周波数特性が骨の病気（骨粗しょう症など）の診断に利用できる可能性を見出した。今回は簡単のため、透過法による実験のみを行った。本診断法は、反射法により様々な部位に適用可能であり、実用化が期待できる。

第4章では、集団検診に利用可能な超音波による乳癌診断技術を提案する。日常の超音波検査において、医師や技師等の術者は探触子を手で自由に操作し、対象部位の画像データを適応的に採取する。このことから、診断の再現性が問題視されている。また、終日検査をする場合などは、疲労も加わり、画像データの採取漏れの危険がある。特に集団検診に際しては、被検者が多く、また一人あたりに費やす計測時間も限られることから、その可能性が高くなることが予想される。そこで本研究では、女性の死因のトップである乳癌の検診における再現性向上と、被検者及び術者の肉体的・精神的負担軽減を目指し、乳頭を中心に通常の探触子を回転走査させる画像採取方式を考案し、装置を製作して有効性を実証した。さらに、乳頭を中心に乳房全体の断面像及び平面像を連続表示可能な新しい画像構成方法・表示方法を考案して、画像化実験を通してその有効性を検証し、従来の局所的な断層像では得られない情報の獲得が可能であることを示した。提案した方式に基づく装置は既に実用化され、さらに医学専門家と協力して改良研究が行われている。

第5章では、現在行われている組織採取による病理検査を必要とせず、直接その場で良性・悪性の判断（確定診断）が可能となる穿刺型超音波顕微鏡開発のための基礎技術について述べている。本研究では、極細のファイバーに100MHz以上の超高周波超音波を減衰なく伝送させる技術を開発し、ファイバーを経由して超音波が音響媒体（水や超音波ゼリー）境界で反射し、またそれらの中を透過することを確認した。ファイバーの材料として、石英とサファイアを用いた実験を行ったところ、サファイアは石英に比べ超音波の伝搬による減衰が少ないことなどから、高い周波数の伝搬に有利であったものの、石英は加工が容易である点で扱いやすく、実用化に際しての費用の件でも有利である。そこで今回は、石英ファイバーを用いて画像化実験を行い、水中に置いた貨幣（10円硬貨）の画像化に成功した。この結果は、極細ファイバーを用いた超高周波超音波による生体内組織の画像化技術の確立に繋がる重要な成果である。

第6章は結論であり、本研究の成果を総括し、残された今後の課題について言及する。

学位論文審査の要旨

超音波による画像診断法はX線被曝の危険がなく、装置の導入コストや操作性の面で他のモダリティによる方法に比べて有利であることから、癌を始めとする様々な疾患の診断に広く用いられている。しかし、主要な診断対象は腹部や心臓などの軟部組織であるため、骨や肺などの超音波が伝搬し難い部位への適用が望まれている。また、操作性の高さが翻って、再現性や定量性の低さにつながっており、それらの解決による診断精度の向上が、例えば乳

癌診断において強く期待されている。一方、超音波に限らず、画像診断で癌の疑いが生じた場合、該当部位の生体組織を採取して確定診断を行うことになる。そこで、超音波計測の実時間性を活かし、画像診断と同時に確定診断を行えば、患者の肉体的・精神的な負担の軽減、医療費の削減が可能になる。以上のように、超音波診断の適用対象 / 領域の拡張は、医療技術の革新に大きく貢献する。

このような背景から、本論文では超音波診断において困難とされる代表的な課題として、骨内部の画像診断、再現性と定量性を保証する乳癌診断、実時間確定診断のための生体内超音波顕微鏡技術の3つを取り上げ、それらの基礎技術やシステム化技術について論じている。本研究で得られた成果を整理すると、以下のようになる。

(1) 骨内部の画像診断につながる特性計測について、実験的検討を行った。骨は軟部組織に比べて音響インピーダンスが大きいことから、超音波を入射させる際、その大部分が表面で反射し、さらに内部で大幅に減衰するため、深部まで伝搬する超音波は微弱となる。ゆえに、従来から検討されている透過波の振幅や音速の値は、計測精度の低さゆえに定量的な診断への適用が困難である。そこで本研究では、透過波の周波数特性に注目して、豚の骨を用いた実験を行った。その結果、特定の周波数において透過量が極大値をとる傾向があり、その値の大小が骨の部位に関係することを確認した。今後、この現象のメカニズムを解明することで、新たな骨診断法の確立が期待できる。

(2) 再現性・定量性の高い乳腺の広視野画像化手法を提案した。従来の超音波による乳癌の診断では、検査者が探触子を手で操作して、局所的な観察を繰り返しながら、必要な範囲の画像データを採取している。そのため、診断の再現性や画像の採取漏れが危惧される。そこで、超音波探触子を機械的に回転させながら、要求される分解能で画像を採取できる装置を開発した。さらに、採取された画像群を適切に合成して、乳房全体の様々な断面像を生成する画像表示システムを構築した。以上の技術は、従来の局部画像では困難な乳癌の3次元構造の把握を可能にし、ゆえに診断精度の向上に貢献するものと考えられる。

(3) 組織採取による病理検査を必要とせず、直接その場で腫瘍の確定診断が可能となる穿刺型超音波顕微鏡を想定し、その基礎技術である高周波超音波の伝送手法を提案した。現在報告されている伝送周波数は数10MHz程度が上限であるのに対し、本研究では直径数百 μm の極細ファイバーに対して、100MHz以上の超高周波を伝送可能であることを示した。さらに、この超高周波超音波を送信し、ファイバーを経由して対象物からの反射波を受信することに成功した。この結果は、生体内組織の高分解能画像化技術につながる重要な成果である。

以上のように、本論文は超音波診断の大幅な拡張と進展を促す新たな技術開発に関するものであり、画像診断技術全般の発展に大きく寄与し、医用工学的に重要な意義を有する。よって、本論文は博士（工学）の学位を授与するに十分な価値があると認められる。

(最終試験又は試験の結果)

本学の学位規則に従い、最終試験を行なった。公開の席上で論文発表を行ない、学内外から多数の出席者を得て多角的な討論を行なった。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行なった。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。

氏名	井口 知也
学位の種類	博士（作業療法学）
学位記番号	健博 第35号
学位授与の日付	平成23年9月30日
課程・論文の別	学位規則第5条第1項該当
学位論文題名	認知症高齢者の絵カード評価法の信頼性と妥当性の検討
論文審査委員	主査 教授 山田 孝 委員 教授 繁田 雅弘 委員 教授 大嶋 伸雄

論文の内容の要旨

認知症高齢者の絵カード評価法（以下、絵カード評価法）は、認知症高齢者が自分にとって個人的意味や価値のある作業を明確に述べることができ、作業療法士との対話を促すことができる評価法である。絵カード評価法を用いることで、認知症高齢者にとっての意味のある作業を明らかにすることができ、絵カードを通じて語られるクライアントの語りを傾聴することで、ただ作業名を明らかにするだけでなく、対象者が体験している作業的生活とその文脈を評価し、作業行動の適応に向けた作業療法を提供することができる。絵カード評価法を作成した先行研究では、絵カード評価法で用いる絵カードの表面的妥当性と内容的妥当性が担保されていることを確認したが、その他の信頼性と妥当性の検証には至っていない。そこで、本研究の目的は、絵カード評価法の信頼性と妥当性を検討することとした。

高齢者施設を利用する非認知症高齢者（以下、非認知症群）と中等度認知症高齢者（以下、認知症群）の各70名に絵カード評価法を実施した。信頼性は再検査信頼性、検者間信頼性、内部一貫性を、妥当性は基準関連妥当性、構成概念妥当性を検証した。統計解析にはSPSS 19.0J for Windowsを用い、統計学的有意水準は5%未満とした。

その結果、再検査信頼性では、対象者の一致度は79%以上であり、作業別の一致度の平均は8.7ポイント以下であった。また、 κ 係数の平均が0.52～0.56と中等度の一致度であり、0.41以上の作業が非認知症群で74.3%、認知症群で87.1%を占めていた。検者間信頼性では全体の κ 係数が0.61とかなりの一致度であった。基準関連妥当性では、作業の評価法であるカナダ作業遂行測定（COPM）との一致率が認知症群で99.5%、 κ 係数が0.91であった。絵カード評価法の評点を用いた探索的因子分析から、両群ともに4因子構造による構成概念が構築された。両群に共通した構成概念は「仕事・役割活動」「趣味・余暇活動」「日常生活活動」であり、非認知症群で「健康維持・希少余暇活動」、認知症群で「希少余暇活動」が特有な構成概念であることがわかった。また、4つの因子構造の内部一貫性は、非認知症群で $\alpha = 0.94$ 、認知症群で $\alpha = 0.95$ と非常に高い値が認められ、各下位尺度でも非認知症群で $\alpha = 0.78 \sim 0.90$ 、認知症群で $\alpha = 0.81 \sim 0.92$ と非常に高い値が認められた。以上より、絵カード評価法は高い信頼性と妥当性が担保されており、認知機能の低下が認められても因子構造の差異は少なく安定した構成概念を持つことから、認知症高齢者に適応できる評価法で

あると考えられた。

学位論文審査の要旨

本研究は認知症が自分の個人的に意味のある活動や価値を持つ活動を明確に指し示すことが困難であり、作業療法士などの治療者との対話のきっかけを作ることが困難であるという理由から、絵カードを用いた評価法を作成しようと考えたことから実施された。認知症高齢者は、その認知障害により、作業療法の内容の言語による説明を十分に理解できない。一方、実際の作業療法場面を見せて理解することはできるであろうが、すべての選択肢を作業療法の実際の場面で見せることは不可能である。したがって、絵カード評価法は臨床現場ではきわめて汎用性があり、実用的なツールであると言えよう。

本研究に至る経過は、修士論文では実際の作業を写真に撮って提示するという方法をとったが、写真ではわかりにくいことや内容的妥当性が低かった。したがって、本研究では、絵画の専門家に描いてもらった作業を B6 サイズにした絵カードを提示することになったということも、きわめて理解ですることであった。

本研究は精神測定法上の典型的な手法を用いて、検査の信頼性と妥当性を検証した。すなわち、再検査信頼性、検者間信頼性、内部一貫性による信頼性、および、基準関連妥当性、構成概念妥当性である。いずれの方法も、きちんとした手続きに従って実施されており、すべてがこの検査法の有用性を支持するものであった。

認知症高齢者を対象とした研究では、彼らが提示された刺激をどこまで正確に理解しているのかを評価することはきわめて困難である。すべてを理解できないことは明白であるが、どの程度理解しているのかを判定することが難しい。したがって、認知症高齢者を対象にしたツールを開発するための研究にはさまざまな困難が伴うが、本研究では、健常高齢者との比較などを行うことにより、この点の課題解決に十分に務めていると考えられた。

本論文に関する公開発表会を開催し活発な討論が行われた。最終試験として行った口頭試問においては、上記の点を限界として認識していることが確認できた。また、質問にも謙虚に、かつ誠実に回答し、今後の研究に対する意欲も十分に認められたため合格と判定した。

以上のことから、本研究が博士学位論文に値するものであり、筆者が博士（作業療法学）に相当すると判定する。

学 位 论 文 提 出 者

氏名	川田 学
学位の種類	博士（心理学）
学位記番号	人博 第18号
学位授与の日付	平成23年9月15日
課程・論文の別	学位規則第4条第2項該当
学位論文題名	乳児期における自己発達の原基的機制 —客体的自己の起源と三項関係の蝶番効果—
論文審査委員	主査 教授 須田 治 委員 教授 市原 茂 委員 教授 永井 徹

論文の内容の要旨

1. 本論文の課題

自己意識はヒトの精神発達の基幹であり、他の動物種と共有する生態学的水準から、ホミニゼーションの過程で高次の進化を遂げた表象的水準まで階層的に形成されている。発達心理学において、乳児の自己発達に関する実証的研究が本格化したのは、1970年代の自己鏡映像認知 (mirror self-recognition) 研究以降であり、ヒトが生後2歳頃までに客体的自己 (objective self) を発達させることを示唆してきた。一方、1990年代になると、より幼い乳児の段階での環境と自己との弁別能力を示唆する知見が相次いで提出され、知覚された自己 (perceived self) という新しいパラダイムが台頭した。

乳児の自己に関する研究関心が高まる中で、客体的自己研究は生後2年目後半以降の自他認識発達との関連を追究し、知覚された自己研究はより早期ないし生得的能力の解明へと向かった。その結果、生後1年目半ばから2年目半ばにかけての時期に、自己発達研究のミッシング・リンクと呼ぶべき空隙が形成されたと考えられる。本研究では、この研究上のミッシング・リンクにこそ、ヒトにおける高次自己意識の基盤が形成される鍵があると考え、とりわけ<自己-媒介物-他者>というトライアングルで世界を認識する三項関係 (triad relationship) の発達に着目している。

二項関係から三項関係へという初期自他認識発達の通説的理解を批判的に検討し、生後1年目前半から直観的な三項関係的自他認識が発生していること、そのような萌芽的認識はヒト乳児と養育者との間に機能する同一化 (identification; 他者の対象媒介的行為への擬似的参加) が重要な役割を担っていること、三項関係の構成原理そのものが乳児の主体感 (sense of agency) に質的变化を及ぼし客体的自己を発生させるしくみを内在していること、更にこうしたヒトに特徴的と考えられる三項関係の形成と同一化が、生後2年目における高次の役割交替模倣 (他者の立場や状況の観察から自己の役割を類推し、遂行する模倣の特殊形態) を発達させる可能性があることについて、実証的・理論的に検討する必要があると考える。加えて、自他認識発達に質的な困難をもつ自閉症スペクトラムと定型発達との比較検討を通じ、客体的自己発達の原基的機制に関する仮説的な説明を試みるのが本研究の課題である。

2. 本論文の構成（目次）

序論

第Ⅰ部 理論的検討

- 第1章 自己と他者の発達心理学
- 第2章 人類における二項関係の特徴と三項関係の成り立ち
- 第3章 役割交替模倣と自他関係性の発達
- 第4章 自閉症幼児における自他関係性の発達
- 第5章 本研究の構成

第Ⅱ部 実証研究

- 第6章 乳児における他者の食行為への擬似的参加 (virtual participation) 【研究1】
- 第7章 養育者における乳児の食行為への擬似的参加 (virtual participation) 【研究2】
- 第8章 離乳食場面における養育者 - 乳児間の協同的摂食様態と乳児の自食行動の発達【研究3】
- 第9章 乳児期における第一次役割交替模倣と自己主張性との発達連関：乳児の「食べさせる行動」に着目して【研究4】
- 第10章 1～2歳児における第二次役割交替模倣と自己鏡映像認知、積極的教示行為との発達連関【研究5】
- 第11章 自閉症幼児における第二次役割交替模倣と自他関係性の発達【研究6-1】および【研究6-2】

第Ⅲ部 総括

- 第12章 総括的討論

3. 本論文の要旨

第Ⅰ部 理論的検討

第1章 自己と他者の発達心理学

生後6か月頃から18か月頃にかけて、乳児がどのように自己発達を遂げていくのかについて、十分な説明モデルが検討されていないことを指摘し、これを乳児期の自己発達におけるミッシング・リンクと呼んだ。本章では、このミッシング・リンクを埋める鍵を三項関係に求め、三項関係に内在する心的機制の発達を分析することが、客体的自己の個体発生的起源を明らかにすると論じた。これまで客体的自己の未成立期と見なされてきた生後9か月頃に、直観的な概念的自己と呼ぶべき水準があり、それは対人相互作用の中で身体的・情動的諸反応として現れるとの仮説を提示した。

第2章 人類における二項関係の特徴と三項関係の成り立ち

ここでは、比較認知科学的な視点から、ヒトの三項関係発達の特徴を分析した。チンパンジー (Pan troglodytes) においても、新生児模倣や見つめ合いのような二項関係が観察されるが、ヒトのような三項関係の発達は認められていない。この個体発生的な相違について、Tomaselloの共同注意理論を参照しつつ検討した。すなわち、ヒト乳児には発達初期から他者行為への擬似的参加(同一化)が存在し、これにより、従来二項関係の時期と見なされてきた生後半以前に、既に直観的な水準の三項関係が発生している。しかし、チンパンジーには直観的な三項関係が発生しないか、微弱なものであるため、後の象徴水準の三項関係へ

と至らない可能性がある。ここから、直観的三項関係を発達論的に定位することが、ヒト乳児における自己発達の仮説構築において重要であると指摘した。

第3章 役割交替模倣と自他関係性の発達

本章では、三項関係概念を自己発達との関連で拡張するため、三項関係に含まれる役割交替模倣 (role-reversal imitation) の側面に焦点化した。従来、三項関係では、他者と注意を共有する機能 (attention sharing) が注目されてきたが、三項関係の成立プロセスは、過去に大人が子どもに対して対象物やシンボルを操作した枠組みを保存したまま役割を入れ替え、子どもが対象物やシンボルを介して大人に働きかけるものである。こうした行為の獲得の経緯は、模倣の一特殊形態としての役割交替模倣である。役割交替模倣は、他者と同型の行為を行うだけの同型的模倣とは異なる。相手の状況を認識した上で自己の行為 (役割) を遂行しなければならず、そのとき自他の役割は常に非対称となる。自他は同時に同じ役割を遂行することはできず、自他相互の存在としての個別性が認識されると同時に、役割としての自他の交替可能性も認識される。役割交替模倣は自己の個別性と役割性とを併存させる、三項関係の重要な本質を現していると考えられた。なお、1つの媒介物を介した役割交替模倣を第一次、対の役割をもつ2つの媒介物を介したそれを第二次として区分した。

第4章 自閉症幼児における自他関係性の発達

自閉症スペクトラム障がい (以下、自閉症) をもつ個人には、自他認識に関する特有の困難を示す症例が少なくない。1980年代からの「心の理論」研究は、定型発達で4、5歳頃に獲得される高次の自他認識を自閉症の中核障がいと位置づけたが、より近年の研究では三項関係 (共同注意) やそれ以前の同一化機能の障がい注目されるようになった。本章では自閉症にみられる自他認識の困難が、三項関係以前の同一化の障がいを1つの重要な起源とし、その結果三項関係の形成不全や特異な機能間連関を発達させる可能性を指摘し、定型発達児との比較研究の必要性について述べた。

第5章 本研究の構成

本章では、第II部の7つの研究について、それぞれの目的と概要を整理した。

第II部 実証研究

第6章 乳児における他者の食行為への擬似的参加 (virtual participation) 【研究1】

研究1では、乳児期における直観的他者理解の形式である同一化について検討するため、擬似酸味反応 (virtual acid responses) を取り上げた。ここでは、レモン摂食経験の有る乳児が、他者のレモン摂食場面を観察したとき、相手は真顔のままであるのに、自分が酸味を経験したかのような身体・情動諸反応を示した時、これを擬似酸味反応と呼ぶ。生後5か月から14か月の43名の乳児を対象に、レモン摂食経験の有無と月齢 (平均7か月と11か月) による群分けを行い実験を行った。結果、顔をしかめる等の典型的な擬似酸味反応は、レモン摂食経験有りの乳児で有意に多く、その傾向はより月齢の低い乳児に顕著であり、生後5か月の対象児にも擬似酸味反応が観察された。ここから、乳児は生後半年頃、既に他者の対象への行為を自己の体験と関連づけて反応 (同一化) している可能性が示唆された。

第7章 養育者における乳児の食行為への擬似的参加 (virtual participation) 【研究2】

研究2では、研究1とほぼ同じ月齢期における、養育者から乳児への同一化について検討するため、共感的開口 (empathetic mouth movement) を取り上げた。共感的開口とは、他

者の食行為を観察したときに、他者が開口する直前か同時に、自分の口が他者のそれと同じように開いてしまう現象である。母子8組を生後5～15か月、日常の食事場면을追跡観察した。結果、乳児の摂食に対する母親の共感的開口の生起率は、生後9か月をピークとした逆U字カーブを描いた。ただし、母親の共感的開口は自ら乳児に食物を与える時に顕著であり、乳児が自分で食べる際には余り生じなかった。9か月以降の減少は、乳児の食の自立に伴うものだと考えられるが、こうした共感関係の変化が乳児の自己発達を促進するものと推察された。

研究1, 2を通じ、生後1年目前半から後半にかけて、養育者と乳児の双方に相手への同一化が機能しており、それは二者関係的なものを越えて、食物や食具などを媒介した三項関係的な相互作用において生じていることが示唆された。

第8章 離乳食場面における養育者 - 乳児間の協同的摂食様態と乳児の自食行動の発達【研究3】

研究3は研究4の布石的な役割を持ち、食事場面において第一次役割交替模倣（他者に食べさせる行動）が発生する前後の時期に、食物や食具（第三項）を媒介した養育者 - 乳児間相互作用にどのような変化が認められるかについて母子8組、生後5～15か月追跡観察した。結果、生後9か月以前には養育者と乳児が食具を協同操作する「協食」が観察されたが、9か月以降は消失し、より役割分化した相互作用が認められるようになった。

第9章 乳児期における第一次役割交替模倣と自己主張性との発達連関：乳児の「食べさせる行動」に着目して【研究4】

研究4では、第一次役割交替模倣の一典型事象として「他者に食べさせる行動」を取り上げ、母子8組を5～15か月追跡観察した。結果、すべての乳児が生後9か月から11か月の間に当該行動を初発した。更に、乳児が「受動的摂食」（母親による食物供給）を拒否する割合を分析すると、他者に食べさせる行動の初発月齢の前後で、統計的に有意に増加していることが示された。同時に、養育者の対乳児行動にも様々な変化が起こり、乳児自身に食事における失敗の責任を帰したり、食事の終了に際して乳児自身の意思確認を求めるようになり、ここから養育者が乳児を個別の意図的行為主体（intentional agent）と見なして対処しはじめていることが推察された。

第10章 1～2歳児における第二次役割交替模倣と自己鏡映像認知、積極的教示行為との発達連関【研究5】

第一次役割交替模倣は、媒介物のシンボリック使用によって自己と他者の役割的な関係を乳児に教え、客体的・概念的自己発達の重要な局面を示唆するものと思われた。しかし、それは未だ直観的な水準であり、自己の客体化に基づく自他関係の柔軟な調整性は、＜自己 - 媒介物 - 他者＞という三項関係全体のシンボル化を必要とすると予測された。このような、現実の三項関係と架空の（役割的な）三項関係を同時に認識しながらの行為とは、一般に“ごっこ”と呼ばれる遊びの構造であり、オニとコのように対の役割を示す媒介物を柔軟に交替することによって成立する。これは第一次の水準を越えた、より洗練された役割交替模倣である。

研究5では、後の“ごっこ”へと発展する最も基礎的な段階を第二次役割交替模倣と呼び、これを測定するための「サカナとタモ」課題を用いて実験を行い、自己鏡映像認知や積極的教示行為といった自他認識を測定する他の課題との関連を分析した。結果、1歳半から2歳

にかけて、第二次役割交替模倣の発達が認められ、他の課題との相関関係も認められた。

第11章 自閉症幼児における第二次役割交替模倣と自他関係性の発達【研究6-1】および【研究6-2】

研究6では発達年齢で1, 2歳頃の自閉症幼児に対して研究5と同様の課題を実施し、定型発達児との共通性と、自閉症における特異性を検討した。研究6-1では、自閉症幼児9名（特別支援学校幼稚部）を対象に実験を行った。結果、発達年齢の上昇とともに、第二次役割交替模倣の課題を通過する傾向が認められた。一方で、自己鏡映像認知のみ相対的に成績が良好であった。自己鏡映像認知は、従来より客体的自己の測定指標として重視されてきたが、自閉症幼児の結果を見る限り、よりプリミティブな心的機能（視覚-運動マッチング）でも通過可能な課題である可能性が示唆された。これに対し、第二次役割交替模倣は自閉症をもつ幼児にはより負荷の高い課題であり、自己発達の水準をアセスメントするため手段として有効であると考えられた。

研究6-2では、特に新入園の3歳男児1名に対する縦断的な課題実施と参与観察を行い、課題場面における役割交替模倣等の変化と日常場面の自他認識の変化との関連を検討した。結果、3課題における達成レベルの向上的変化と連動するかたちで、日常場面における男児の自他認識に変化が生じている様子が示された。本児は、高活動性と注意転導、言語・シンボル系の相互意思伝達の困難さが認められたが、社会的状況の忌避は少なかった。当初は対人トラブルが頻発したが、担任との愛着形成と平行してエコラリアや同調的な模倣、並行遊び等が見られるようになり、自他認識の発達の变化が認められた。本児は、間身体的な同調性から自他の客体的な認識へという、従来の「未分化から分化へ」という定型発達モデルに近似する発達経路をたどったと考えられる。しかし、他の自閉症児の中には、身体的・情動的な直観的自他認識が相対的に弱いまま、認知的な構成作用によって自他認識を発達させていると考えられる者もいた。自閉症児は定型発達児と比較して、機能連関の仕方や特定機能の発達のタイミングに多様性があり、発達の多経路性を想定すべきであると論じた。

第Ⅲ部 総括

第12章 総括的討論

本章では、第Ⅱ部の諸研究を踏まえ、生後2年間における自己と三項関係の発達に関する理論的整理を行い、主として3つの発達区分を行った。第1に、生後半年までには直観的三項関係が形成される。擬似酸味反応に代表されるように、乳児は他者の対象への行為の観察に基づいて自己の身体的・情動的变化を生じる。未だ第三項のシンボル化は起こっていないが、乳児は同一化によって自己経験と他者行為の観察とを結びつけて経験しはじめる。

第2に、生後9～12か月頃に基盤的三項関係が形成される。第三項を媒介した第一次役割交替模倣が可能になり、第三項は自他関係を象徴する心理的対象として機能するようになる。この時期、共同注意が安定する中で、乳児は他者の注意対象としての自己を発見する。この段階の自己は、乳児の身体的・情動的な諸反応のフィードバックによる直観的な気づきによって体験されるので、直観的な概念的自己である。生後9か月以降に活発化する乳児の拒否的傾向は、直観的な概念的自己の性質が具現化したものであり、これを一般に2, 3歳頃の特徴とされる negativism（拒否主義）と対比させて agencism（主体主義）と命名した。

第3に、生後2年目後半以降に再帰的三項関係が形成される。基盤的三項関係の段階では、

第三項がシンボル化されているものの、自己と他者については直観的な理解の水準であり、三項関係の相互作用における調整性は限定されている。生後2年目後半になると、第二次役割交替模倣に代表されるように、他者の役割の観察から自己の役割を類推・遂行することが可能になり、現実の三項関係に拘束されず、架空の役割的な三項関係に基づいて自他関係を調整するようになる。すなわち、再帰的三項関係の段階において、乳児の自己は「個別存在としての自己」と「役割存在としての自己」という2つの性質を共存させると考えられ、この二重化した自己こそがヒトの客体的自己の本質であると考えられた。以上から、2つの自己を1人の乳児に共存させるための中核的な心的装置として三項関係を再定義し、これを三項関係の蝶番効果 (hinge effect) と命名した。

学位論文審査の要旨

1. 論文の評価

この論文では、生後9カ月から2歳半くらいまでに生起してくる共同注視、指さし、差出し、否定仕草などの「三項関係」インタラクションに関心を寄せる。それについて、ヒトの発達を特徴づける社会的存在としての主体の成立を、関係論的視点から論じている。

これまで国際的議論では進化人類学、認知科学などを含めさまざまな理論（たとえばトマセロ、レディ、バロン＝コーエン、ワロンなど）が三項関係の発達を捉えようとしてきた。しかし川田は、その発達変化について単純に認知能力発達にそって平板に説明するのではなく、そこから自－他分化した自我、つまり社会的存在としての主体が生まれることを説明した。ここに独自の理論的特徴があるといえ、丁寧な6つの実験観察によってデータで検討している。

具体的にいうと、成果の特徴は次のとおりである。まず子と親の二項関係から子と親とモノとの三項関係への変化が取り上げられ、疑似酸味課題、食事場面、役割交代模倣などでの実験観察から、社会的な主体の生じることが示された。たとえば、①酸っぱさへの共感、②赤ん坊の「待つ」という反応もって行うやりとり（例、離乳食を食べさせてもらう）、③離乳食を拒否する、吐き出すこと、④親に食べさせようとするような役割の交代が出現し、⑤役割の交代を模倣する過程が、三項関係インタラクションの発達とともにでてくること、が指摘されている。

この論文の成果は、こうした発達を説明するための統合的な機序論にもある。ヒトの三項関係発達が認知的モニタリングであるというだけでなく、自－他間の分化をもたらすと同時に、主体感（役割主体自己）を生みだすと捉えていることにもある。彼はそれを「蝶番効果」としてとらえ、認知が身体性と絡まって発達するという関心を示している。並行する感覚運動的、さらには主体感にかかわる感情発達については、今後の研究課題であるといえようが、認知サイドからの説明としては十分な成果をあげていると評価される。

2. 審査結果

ヒトという種としての発達について、三項関係が、その主体の発達をも含んで変化をもたらすという知見は、情動発達や、言語発達にも、発達障害などにも重要な意味をもたらすといえよう。とくに表象化された感情発達研究、脳発達に関心をしめず発達障害研究への貢献はきわめて高いといえるだろう。論文全体の論旨の豊かさ、研究方法、考察の深さにおいて、高い質の知見を提供しており卓越した論文と評価できる。7月14日の公開審査の結果でも

審査委員一同高い評価を与えており，川田学に全員一致で博士論文を授与することが適当と判断した。

氏名	嵩井 里恵子
学位の種類	博士（史学）
学位記番号	人博 第19号
学位授与の日付	平成23年9月15日
課程・論文の別	学位規則第4条第2項該当
学位論文題名	14・15世紀パリにおけるサン・ジャック巡礼施療院 —証書史料・会計史料からみたその社会的役割—
論文審査委員	主査 教授 河原 温 委員 教授 前沢 伸行 委員 教授 中野 隆生（学習院大学文学部）

論文の内容の要旨

1. 本論文の課題

本論文は、中世後期（14－15世紀）の都市パリにおける慈善救済施設の活動とそうした施設への寄進者・遺贈者の実態の分析を通じて、中世ヨーロッパの都市社会において慈善救済施設が果たした社会経済史的役割および宗教的、霊的役割を考察したものである。

中世のパリにおいては、貧民、巡礼、ハンセン病者、孤児、老人、身体障害者等さまざまな社会的弱者を受け入れたホテル・デュー（「神の家」）ないしオピタル（「施療院」）と総称される慈善救済施設が数多く設立された。本論文では、その中で当時ヨーロッパ最大の巡礼地のひとつであったサンティアゴ・デ・コンポステラへの巡礼者の相互扶助のために組織されたパリのサン・ジャック兄弟団（*confrérie des pèlerins de Saint-Jacques*）が設立し、運営したサン・ジャック巡礼施療院（*hôpital Saint-Jacques-aux-Pèlerins*）を考察の対象としてとりあげ、俗人（市民）による「慈愛の実践」が中世後期のパリにおいてどのような社会的意義を有したのかを論じるものである。

中世ヨーロッパの都市において、貧民や病者を受け入れ、世話をした慈善救済施設（「施療院」）は、本来キリスト教会（司教）の主導により設立・運営されるケースが多かったが、12・13世紀以降、都市の自治と自立性が高まる中で世俗市民（都市当局）がイニシアティブをとって、かかる施設を聖職者と共同で管理・運営していく傾向がみられる。中世フランス王権の拠点であった大都市パリの場合、教会（司教）と世俗市民の双方がこうした施設にかかわったが、中世後期（14・15世紀）には、百年戦争やペストの襲来などによる経済的、社会的危機や聖職者の腐敗などに端を発するカトリック教会と信仰の危機が生じたとされる。従来、この時期にパリの施療院は財政的にも、制度的にも危機に直面し、その衰退が強調され、16世紀にようやく慈善・救貧制度の本格的改革へ向かうとみなされてきた。

本論文は、かかる通説の有効性を検証するため、これまでフランス学界でも実証的分析の対象とされてこなかったパリのサン・ジャック巡礼施療院の未刊行の会計帳簿（1326～1500年）と寄進文書（1319～1500年）を網羅的に検討して、中世後期の当該施療院の財政構造、施設への寄進の傾向と特徴、寄進者、監督者を中心とする施療院を取り巻く人的・社会的紐帯を明らかにし、「身体的救済」のみならず「魂の救済」の場として中世後期のサン・ジャック

ク巡礼施療院の社会的位置づけを試みるものである。

2. 本論文の構成

本論文の構成は、以下の通りである。

序 論

第1節 研究の現状と課題

第2節 史料

第1章 14・15世紀のパリとサン・ジャック巡礼施療院

第1節 14・15世紀パリ ―地理的区分・権力構造・社会状況―

第2節 パリの権力構造

第3節 14・15世紀パリにおける慈善・歓待施設

第4節 サン・ジャック巡礼施療院の起源と成立

第2章 寄進・遺言の内容と寄進者・遺言者の期待

第1節 寄進の対象

第2節 多様化する期待

第3節 ミサ執行要求の多様化とその変遷

第3章 寄進・遺言の目指したもの ―経済的側面―

第1節 14世紀・15世紀パリにおける貨幣体系と貨幣価値の変遷

第2節 証書史料分析：寄進の形態、不動産寄進の地理的分布とその経済的価値の考察

第3節 会計史料分析：施療院財政の変遷

第4章 サン・ジャック巡礼施療院の寄進者・遺言者とその執行人

第1節 寄進・遺言関連文書を残した者 ―性別・社会的属性からの考察―

第2節 寄進・遺言関連文書を残した者の社会的機能

第3節 寄進者・遺贈者と執行人の相互関係

結 論

参考文献表

図・表・グラフ（別冊）

付録史料

- 1 サン・ジャック巡礼施療院監督者一覧（1319/24年度～1499/1500年度）
- 2 サン・ジャック巡礼施療院収入役・代訴人一覧（1390/91年度～1499/1500年度）
- 3 サン・ジャック巡礼施療院トレゾリエー一覧（1319/24年度～1499/1500年度）
- 4 校訂史料

本論文の内容

以下に本論文の内容を要約する。

序論は、ヨーロッパ中世都市史における近年の貧民・下層民・社会的弱者に関する研究の動向を整理する中で、中世有数の大都市であったパリにおける慈善救済施設研究に焦点をあて、社会的弱者への慈善行為を主導したカトリック教会の下で中世人の社会的、宗教的心性を表象する場として機能した慈善救済施設の重要性を指摘する。特に、中世後期(14・15世紀)という社会的危機の時代において「施療院」ないし「神の家」と呼ばれた慈善救済施設の経

営の実態と信仰の実践の場としての意義を問い直すという課題が設定される。中世のパリでは、主要な慈善施設としてサン・ラザール（ハンセン病）施療院、キャンズ・ヴァン（盲人）施療院など12の施療院が知られているが、その中で会計簿、寄進文書などの文書史料が長期にわたり豊富に伝来していながら未だ総合的な研究がなされてこなかったサン・ジャック巡礼施療院がその課題に応えるべき分析の対象とされる。

第1章は、サン・ジャック巡礼施療院が設立された13－15世紀の都市パリの社会状況と権力構造を概観し、その文脈の中で当該施療院の設立の背景と組織を考察している。当施療院は、王権と教会組織（パリ司教）が強い影響力をもっていた都市パリにおいて、サンティアゴ・デ・コンポステラへの巡礼者のために組織された兄弟団（コンフレリ）により14世紀初頭にパリ右岸に設立された。施療院の母体となったサン・ジャック巡礼兄弟団は、パリの中・上層市民（商工業者）を中心に、聖ジャック（ヤコブ）信仰の絆によって結ばれた俗人の自発的宗教団体であり、毎年選出される複数（2～4名）の兄弟団の代表者が施療院の監督者を兼任した。この施療院は、「隣人愛」に基づく慈悲の行為（巡礼、貧民の受け入れ）だけではなく、施設への寄進者の魂の救済のためのミサ（祈祷）をはじめとするさまざまな聖務執行を行うことが重要な職務であり、そのために聖職者（シャプラン）もまた施療院に所属し、活動していた。従って、サン・ジャック巡礼施療院は、俗人（市民）と教会人（聖職者）による複合的な都市の社会施設であったことが確認される。

第2章は、14・15世紀のサン・ジャック巡礼施療院に伝来する199通の寄進・遺贈関連文書（1319年～1500年）の分析を通じて、当施療院へ向けられた寄進行為の内容を分析し、魂の救済を求めた寄進者の霊的期待と現世的な動機を探っている。命日ミサの設定をはじめとする寄進者・遺言者自身の魂の救済のみならず、故人となった親族・知人・兄弟団のメンバーのための追悼ミサの設定や聖務を遂行する当該施療院の聖職者（シャプラン）のための祿の設定、施療院に受け入れられた貧者への分配など様々な金額と種類の寄進内容が明らかとなる。とりわけ、15世紀後半以降ミサ執行手続きの多様化の傾向が指摘され、中世末期の寄進者の心性の変容とその霊的期待の多様化が指摘される。

第3章は、寄進者・遺言者によるサン・ジャック巡礼施療院への寄進・遺贈の実態とその経済的性格および、そうした収入を基礎とする当施療院の財政構造を考察している。寄進者は、定期金や不動産の形で様々な寄進を行っていたが、施療院の施設拡充、ミサ聖務執行経費、貧者への分配など、多様な目的のために寄進がなされていたこと（表3、表4、表7）、14・15世紀の中で時期によりその寄進額や内容の変動が大きいことなどが明らかとなる。とりわけ1348年以降断続的に生じた黒死病（ペスト）流行期の当施療院への遺贈額の増加は顕著であり、変動期の市民の意識を反映していたと考えられる。また14・15世紀に寄進された不動産・定期金の大半が当施療院の位置したセーヌ右岸を中心とするパリ市内に分布していたことが指摘される。この点は、当時パリにおける最大の施療院であったオテル・デュエが市外に広大な農村所領を所有していたのとは対照的であり、当施療院の収入基盤が専ら都市内の不動産に基づいていたことを示している。

また、1425-26年度をモデル年度とする当施療院の年間の収入と支出内容の詳細（表11A, 11B）とともに、分析の対象となった時期（1326年度～1499/1500年度）の間に伝来している146年分の収支記録を通じて施療院運営の実質的变化を考察している（グラフ2～5）。そこでは、当施療院の収入の大半が定期金と不動産収入に基づいていること、支出において

は、聖務執行（ミサ等）の経費、禄購入者や施療院スタッフ（聖職者等）への支払いが中心となっていることなどが明らかとなる。会計簿の収支バランスから、中世末期の10年間を除いて財政は、通説で言われているほど社会的な変動期（百年戦争や飢饉、ペストの流行など）においても悪化しておらず、財政的運営はむしろ長期的には安定していたことが指摘される（グラフ1）。また、収支の変遷から、施療院の恒常的な収入源が、ブルジョワ商人層を中心とするサン・ジャック巡礼兄弟団メンバーからの定期金の寄進であったこと、支出の重要な部分が寄進者の魂のための聖務（ミサ）執行を保証するための支出であったこと、その求められた聖務執行の内容は、寄進者側の期待の変化に応じて、時期的に異なっていたことなどが明らかとなる。

第4章は、サン・ジャック巡礼施療院に寄進・遺言文書を残した寄進者とその執行人の社会的属性とその人的関係を考察している。当該施療院へ寄進・遺言を残した者たちは、サン・ジャック巡礼兄弟団のメンバーが中心であったとみられるが、その多く（証書総数の85%）が社会的にはパリの中・上層の商工業者（ブルジョワ）層であったこと、男性ばかりではなく、夫婦や女性（寡婦、既婚女性、単身女性など）の割合も高かったこと、寄進者の中で聖職者（証書総数の15%）の割合が15世紀末に増大することなどが確認される。また、当施療院は、フィリップ6世からシャルル8世にいたる歴代のフランス王家からの寄進も受けており、総じて寄進の重要な担い手と当施療院の監督者がいずれもパリの有力な同職組合を構成していた毛織物商、小間物商、両替商などのパリのブルジョワ商人や都市役職者、国王役人・法律家であったことが確認される（表17および付録1）。他方、寄進・遺言の執行人については、サン・ジャック兄弟団のメンバーの他、施療院に所属して資産管財人（トレゾリエ）や礼拝堂付司祭（シャノワーズ）として活動した聖職者が指名される割合が高かったことが指摘される。証書作成者の求めの多くは、寄進者本人・家族のための命日ミサの設立や貧者への分配などの聖務執行であったが、施療院の運営主体であったサン・ジャック巡礼兄弟団における共同聖務への参加も寄進者の動機を構成していたことが証書の文言からよみとられる。

結論

以上、4章からなる中世後期パリのサン・ジャック巡礼施療院の事例分析から明らかになったことは以下の諸点である。まず、従来中世後期に生じた経済的危機や社会的災禍を背景として指摘されてきた中世後期のパリの施療院運営の困難な状況は、サン・ジャック巡礼施療院の場合必ずしも妥当せず、収支の変動傾向からみて、むしろ寄進者たちの定期金や不動産寄進による経済的支援によって14、15世紀の2世紀間ほぼ安定的な経営を維持したと考えられること、その背景として寄進者の俗人市民のみならず、当施療院の監督者およびトレゾリエ（管財人）を務めた聖職者たちが、危機の時期に適切に対応していったと考えられることである。

第2に、施療院への寄進の内容から、14世紀から15世紀にかけて、魂の救済の保障を求めた寄進者・遺言者の霊的期待は、命日ミサの定期的執行をはじめとする様々な聖務執行の多様化を生み出したが、施療院側もそうした寄進者側の期待の変化に対応しえたということである。第3に、寄進者たちの社会的属性が主としてパリのブルジョワ商人であることが明らかとなり、彼らの「信仰の実践」の場として、また施設を取り巻く人々の記憶を共有し、維持していく場（共同追悼の場）として当施療院が機能したとみられることである。

学位論文審査の要旨

4 審査結果

本論文の公開審査は、2011年7月27日(水)午前10時～12時、5号館134教室で行われた。まず本論文の意義を挙げれば以下の通りである。

第1に、近年の中世都市史研究の動向を踏まえながら、中世都市の施療院研究をめぐるフランス学界の問題意識を共有し、中世後期のパリにおいてこれまで十分な研究がなされてこなかった有力な施療院(サン・ジャック巡礼施療院)の組織と実態を初めて数量的、実証的に分析した点で、フランスの先行研究に比肩する一つの有効なケース・スタディを提示した点がまず評価される。分析の素材として用いられた施療院の会計帳簿と寄進・遺言文書という二系列の史料類型を組み合わせながら、14、15世紀のほぼ2世紀にわたる施療院の経済構造と運営、施設を取り巻く人的関係の動向が詳細に明らかにされたことで、中世後期の都市パリの社会動態の解明に一定の可能性を示したといえる。

第2に、我が国におけるヨーロッパ中世史研究として、高い水準で未刊行の一次史料を用い、精緻な分析を行ったことである。刊行史料(都市法や同職組合の規約などの規範史料)に基づいた静態的なアプローチからは把握しえない都市の社会装置としてのサン・ジャック巡礼施療院の活動のダイナミズムの一端がそこに示されているとあってよいであろう。とりわけ当該施療院の約150年分の会計帳簿を読み解き、通説では中世後期に経済的およびモラル上の危機に陥っていたとされるパリの施療院がそうした危機に柔軟に対応しえたことを収支の内容分析から明らかにした点は重要である。

第3に、サン・ジャック巡礼施療院が都市パリの有力商人(ブルジョワ)層を中心とする都市市民の経済的支援を得ながら、彼らの霊的救済と保障のための様々な聖務(命日ミサ・共同追悼など)の儀礼を発展させ、多様化する寄進者たちの霊的期待に対応していった実態を明らかにしたことである。中世の施療院の果たした霊的機能の重要性を改めて浮き彫りにした点は評価されるだろう。

以上のように、本論文には多くの評価すべき点があるが、公開審査の場で明らかになった問題点や今後の課題もいくつか指摘された。

第1に、慈善救済組織としてのサン・ジャック巡礼施療院が、実質的に救済の対象とした巡礼・貧者の実態が必ずしも明らかにならず、寄進者の霊的救済の側面に比して、貧民の受け入れと世話に関する物的支援の側面が十分に示されていないことである。この点は、中世パリにおける当該施療院がその活動において特異な存在であったのか否かを検証するうえで重要であり、パリの他の有力な慈善施設(オテル・デューやキャンズ・ヴァン施療院など)との比較や、同時代のイタリアやドイツ都市の事例との比較を視野に入れた考察が今後望まれる。また、それに関連して、中世の施療院に対する都市当局の関与(施療院管理の世俗化)のプロセスの進展の有無については議論されていないが、その問題は、中世ヨーロッパ都市史の中で施療院の制度的発展を扱う際の重要な論点の一つであり、サン・ジャック巡礼施療院とパリ市当局との関係をさらに検討することが求められよう。

第2に、本論文は、施療院の詳細な会計記録を効果的に用いているが、収支額及び収支の内容を示すグラフの分析において、14・15世紀に限定せず、できれば16世紀前半までのデータを付け加えることで、中世後期パリの施療院の有した時代的特徴がより明らかになったと思われる。

第3に、本論文の4章で論じられたサン・ジャック巡礼施療院を取り巻く人的絆（寄進者・遺言者、監督者、トレゾリエ、シャノワーヌなど）に関して、当該施療院の母体であったサン・ジャック巡礼兄弟団の会員リストが欠如しているために、同兄弟団のメンバーと施療院の寄進者たちとの関係に限られたケース（全体の1/4）しか確認できない点は、史料状況によるとはいえ、本論文の議論にとって残念である。

また、地道な実証的研究としての評価が与えられた一方で、一施療院の実態分析からだけでは見えにくい、中世後期の都市民の宗教意識の変容について、より広い心性史的視点からの考察も必要ではなかったかという問いかけもなされた。

しかし、これらの課題にもかかわらず、一次史料の精密な読解と分析に基づいた実証性の高い本論文は、通説の修正を含む新たな事実の発見に満ちたものであり、博士論文の水準を満たしていることは明らかである。また、公開審査における質疑応答においても、嵩井里恵子が、優れた見識を有し、将来有望な研究者であることが確認された。以上から、審査員一同は、嵩井里恵子に博士（史学）の学位を授与することが適当であると判断した。

氏名	門脇耕三
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	都市環境博 第58号
学位授与の日付	平成23年9月15日
課程・論文の別	学位規則第4条第2項該当
学位論文題名	集合住宅の構法に規定される住戸計画の自由度に関する研究
論文審査委員	主査 教授 深尾 精一 委員 教授 角田 誠 委員 教授 吉川 徹

論文の内容の要旨

集合住宅において、良好な居住環境を長期に渡って維持していくためには、インフィルと総称される内装や住戸内設備などを適切に改修・更新していくことが、一つの有効な方法である。このとき、経年に伴って生じる様々な変化に対応するため、インフィルを物理的・機能的に支える構造躯体や共用設備、すなわちスケルトンは、多様なインフィルを許容できるものであることが望ましい。

集合住宅の住戸において、そこで成立可能な住戸計画は、集合住宅の物理的な特性に大きく影響される。したがって、スケルトンにおいて実現可能なインフィルの多様さは、個々のスケルトンの計画のされ方によって異なるが、このインフィルの多様さの度合いを、スケルトンの一種の性能として捉え、客観的に評価する手法を構築することは、多様な住戸の実現、インフィル更新による住宅ストックの有効活用といった課題に鑑みて、意義が大きい。

本研究は、集合住宅のスケルトンにおいて成立可能なインフィルの多様さの度合いを評価する手法を構築することを、第一の目的とする。さらに、集合住宅の物理的な特性、すなわち構法計画と、それによって定まる住戸計画の自由度の関係を明らかにすることが、本研究の最終的な目的である。

本論文は7つの章から構成されている。1章は序論であり、既往研究のレビューに基づき、研究の背景を述べるとともに、研究の目的を明らかにしている。

2章では、集合住宅の構法計画と住戸計画の関係について、戦後の日本における集合住宅の変遷を概観することによって、分析を行っている。ここでは、躯体構法、空調・機械換気設備、熱源装置などにおいて顕著に認められる様々な技術変革が、住戸計画に大きく影響を及ぼしてきたことを明らかにしている。また日本は、住戸計画の自由度を高めるための技術開発に関して、世界的にも抜きんできた実績を有する国であり、これらの技術を適用した実験的な集合住宅も数多く建設されてきているが、これらの実験的集合住宅の分析を行うことによって、住戸計画の自由度を向上させるための構法計画についてまとめている。

3章では、任意のスケルトンにおいて実現可能なインフィル計画の多様さの度合いを、「キャパシティ」と呼ぶスケルトンの性能として定義し、その定量的評価手法を提案している。ここではまず、2章の分析に基づき、集合住宅の住戸計画および構法計画をパラメトリック

に記述することを試みた。さらに、既存の集合住宅住戸のキャパシティに関する有識者アンケートを実施し、その結果と住戸の建築特性を表すパラメータ群との関係を、多変量解析を用いて明らかにした。ここで用いたパラメータは、住戸の階高、専有面積、採光条件を表す指標などであるが、有識者によるキャパシティ評価に対しては、階高、専有面積、住戸内に計画された躯体壁の量などが大きく影響を及ぼしていることが明らかになった。また、主要なパラメータを組み込んだ重回帰モデルを仮定し、これにより有識者によるキャパシティ評価値が高い精度で再現可能であることを明らかにした。

4章では、集合住宅住戸における多数の建築的な特性が、互いに影響を及ぼし合うとの仮説を提示し、その影響関係に関する分析を行っている。具体的には、前章で提示した、住戸計画をパラメトリックに記述するという考え方にに基づき、パラメータ間の相関の強さを統計的に算出することによって、住戸計画に大きく影響を及ぼす住戸の建築特性を明らかにした。ここでは、住戸の断面計画に対しては階高が、住戸の平面計画に対しては採光条件が、それぞれ支配的な影響を及ぼしていることが明らかになった。また、パラメータ間の関係を詳細に分析することによって、住戸計画に対する各パラメータの具体的な影響を明らかにした。一例を挙げれば、階高が3,000mmを超える住戸においては、住戸の断面計画の自由度が大きく向上することが明らかになった。

5章では、前章で示した考え方をさらに発展させ、集合住宅の住戸計画において成立する、建築特性同士の計画上の影響構造を明らかにしている。具体的には、多変量解析法の一つであるグラフィカルモデリングを用い、住戸計画の特性を表す多数のパラメータの関係を、グラフ、すなわちネットワークの離散的構造として記述している。また、得られたグラフの構造から、任意のパラメータに対して直接的に影響を及ぼすパラメータの組み合わせを読み取り、その値から、目的とするパラメータの値域を定量的に算出する手法を示した。さらに、ここで求められる値域は、住戸のある部分の計画が与えられた場合の、他の部分の計画可能域を表していることを指摘し、このような考え方が、スケルトンとインフィルという、ビルディングシステムの単純な二元分割によらない、様々な部位についてのキャパシティの概念を示しうることを指摘した。

6章では、5章で示したような様々な建築的特性の間に認められる影響構造を、より一般化した「建築的シンタックス」と称する概念を考案し、その性質と、建物の「部分」の計画の自由度との関係について考察を行った。この考察により、建物の部分の計画の自由度を向上させるための建築的シンタックスの一般的性質が明らかとなった。さらに、この結果を集合住宅の住戸計画の自由度に関する議論に再帰させ、住戸計画の自由度を向上させる構法計画の原則を明確にするとともに、この原則から導かれる集合住宅のビルディングシステムのイメージを明らかにした。

7章は、本論文のまとめであり、研究の成果を結論として示すとともに、今後の課題を明確にした。

学位論文審査の要旨

集合住宅の住戸計画の自由度を向上させようとする試みは、日本では1970年頃から始まり、その当初の主たる狙いは、家族構成の変化や生活の変化に対応することであった。現在

でもそのこと自体の重要性は変わってはいないが、集合住宅の住戸に関する計画の自由度を高めることの意義は、サステイナブルな社会を構築すべきであるという社会的要請を背景とし、建物の長寿命化が課題となっていることにも見いだすことができる。例えば、1960年代後半から1970年代前半に建設された集合住宅は、住戸計画の自由度が低いものが多いため、改修による活用が難しく、これが今日の社会的な課題となっている。また、国際的にも同様な状況を見ることができる。つまり、住戸計画の自由度を高めることは、住戸の物理的・機能的・社会的劣化に対して、改修による性能回復を容易にするという点で、1970年代に指摘されていた以上に重要性が増しているのである。

本論文は、集合住宅の住戸計画の自由度が、その構法によって規定されるとの仮説に基づき、両者の関係を定量的に論じたものである。住戸計画の自由度の向上を目指した構法については、実際の集合住宅の設計・建設を通じた提案が数多く存在し、また国や公共的な組織が主導したいくつかの研究開発事業においても、住戸計画の自由度を向上させる種々の構法計画上の手法が提案され、その原理についての言及が行われている。しかしそれらの研究は、手法を整理・体系化するとどまっており、その効果を定量的に分析するには至っていない。

本論文では、任意のスケルトンにおいて実現可能なインフィル計画の多様さの度合いを「キャパシティ」と呼ぶスケルトンの性能と捉え、その定量的な評価手法を提案し、その妥当性を述べている。住戸の建築特性を表すパラメータから自由度を定量的に評価する手法は、従来みられなかったもので、本論文の新規性を示すものである。また、いくつかのパラメータを組み組んだ重回帰モデルによって、エキスパートジャッジによるスケルトンキャパシティの評価値が高い精度で再現できることを明らかにしているが、これも優れた成果である。

本論文で分析されている、集合住宅の住戸における様々な建築的特性が互いに影響を及ぼしあう関係は、建築計画学・建築構法学の分野での重要な課題であるにもかかわらず、その難解さから従来研究が進んでいなかったが、集合住宅の住戸計画を多数の媒介変数を用いてパラメトリックに表現するという着想に基づき、それら媒介変数間の統計的因果構造のいくつかを明らかにしている。住戸計画の自由度は任意の媒介変数の値域に相当するとの知見を得ているが、独創的な成果である。さらに、本論文ではその値域の予測手法を示しており、これによって、任意の住戸においてどのような住戸計画が可能であるかを、客観的に評価する方法を提示するに至っている。この点で、本論文には有用性も認められる。また、スケルトンとインフィルという単純な二元分割ではなく、ビルディングシステムの様々な部位についてのキャパシティの概念を示しうることを指摘していることも重要である。

さらに、本論文では、「建築的シンタックス」と呼ぶ独自の概念を定義するとともに、その性質と建物の「部分」の計画の自由度を分析することによって、集合住宅に限定されない、建築に関する一般的な知見を得ている。ここで示されている内容は、設計の対象となる構築の環境には、その部分の計画の自由度を高めるような特定の全体構造が存在することを示唆するものである。

以上のように、本論文は建築学、特に建築構法分野の新たな領域を開拓し、集合住宅の住戸計画のみならず、建築の計画方法全般に大きく貢献する研究である。従って、本論文は博士（工学）の学位を授与するに十分価値あるものと認められる。

氏名	渡邊直美
学位の種類	博士（作業療法学）
学位記番号	健博 第36号
学位授与の日付	平成23年9月30日
課程・論文の別	学位規則第4条第2項該当
学位論文題名	在宅脳性麻痺者が求める作業療法に対するニーズ
論文審査委員	主査 教授 山田 孝 委員 教授 里村 恵子 委員 教授 大嶋 伸雄

論文の内容の要旨

先行研究によれば、脳性麻痺の治療は早期発見・早期治療などの乳幼児期の療育に傾きすぎ、脳性麻痺を持つ成人に対する作業療法の関わりは、まだ少ないと言える。筆者は、脳性麻痺児・者の作業療法現場に長く携わってきた中で、ライフステージにより対象者のニーズが変化し、作業療法の実施や支援が変わることを経験した。そこで「対象者は作業療法に何を求めているのか」「作業療法はそれに答えられているのか」などの疑問を抱くことがあり、3名の脳性麻痺者に面接を実施しニーズを探るという研究を行った。この研究をもとに、さらに多くの在宅脳性麻痺者のニーズを知りたいと思い、意思決定の可能な脳性麻痺者に直接意見を伺うアンケート調査を行い、作業療法を受ける側を主体にした調査を実施しようと考えた。アンケート項目は、筆者の先行研究から、作業療法の時期や内容、相談の内容に関する語りを質問項目として抽出し、Consensus法を用い、作業療法士11名と脳性麻痺者3名に表現の分かりにくさ、内容の不明な点、その他気づいた点などを指摘してくれるよう依頼し、検討を加えて作成した。

本研究の目的は、こうして作成したアンケートを在宅脳性麻痺者に実施し、在宅脳性麻痺者が作業療法に求めていることを明確にするとともに、加齢に伴う身体的ケアに対する作業療法の関わり方などを明らかにすることとした。

アンケートの回収は、108名から得られたが、在宅の成人であることと脳性麻痺の診断を持つことという要件を満たしていたのは64名であった。受けた治療は、作業療法が28名、作業療法か理学療法かはっきりしないが25名、理学療法が11名だった。作業療法に対するニーズの調査であるため、理学療法を受けた11名を除いた53名を対象とした。

結果から、在宅脳性麻痺者が作業療法に求めていることは、青年期以後にも定期的な作業療法を望んでいること、その内容は、身体機能の改善よりも今ある能力を使って現状を維持する身体的ケアや、作業療法に行くことで安心感を得、精神的なよりどころとして必要であるという精神的ケアであること、また日常生活について作業療法士などの専門職の援助を必要としていることなどが判った。老化に対するケアは、身体の衰えが健常者よりも早いように思うと答えた方が半数以上おり、今後十分な検討が必要であることが判った。

学位論文審査の要旨

本論文は、脳性麻痺に対する介入は早期発見・早期介入という乳幼児期の療育に傾きがちであり、脳性麻痺の成人に対する作業療法の関わりはまだ少ないこと、また、筆者が脳性麻痺児・者の作業療法の現場に長く携わってきて、対象者がライフステージによってニーズが変化し、作業療法の実施や支援が変わることを経験したことから、実施された。特に、脳性麻痺者本人に対するアンケートなどを実施した研究はほとんどないという状態の中で、当事者本人に対するアンケートを実施したことは特筆に値するものである。副論文では、3名の脳性麻痺者に各3時間と2名の母親に各2時間のインタビューを実施しているが、語りの例示では、当事者の語りは母親の語りの5分の1ほどであり、この種の研究を遂行することには根気が必要であることが理解できた。

副論文をもとに、さらに多くの在宅の脳性麻痺者のニーズを知る目的で、意思決定の可能な脳性麻痺者に直接意見を問うアンケート調査を行い、作業療法を受ける側を主体にした調査を実施した。この種の研究に108名が参加してくれたこと、しかし、年齢や障害の点から64名に絞られたこと、さらに作業療法以外を受けていた方を差し引いて、53名を分析の対象にした。

結果から、在宅脳性麻痺者は青年期以後も作業療法の定期的な介入を望んでいること、その内容は身体機能の改善というよりも、現状を維持する身体的ケアや精神的ケアであり、日常生活を作業療法士の援助を必要としていることが考察された。

脳性麻痺者本人に対するアンケートなどを実施した研究はほとんどないという現状にあて、当事者本人に対するアンケートを実施し、作業療法に対する期待を引き出したことは新たな知見を生み出したものと思われる。

本論文に関する公開の発表会を開催し、多角的な討論を行った。最終試験として行った口頭試問においては、意思決定の可能な脳性麻痺者とはどういうことかや、治療という用語が使われているが近年では介入などが使われるといった質問などに対して、謙虚に、かつ誠実に回答しており、また、今後の研究に対する意欲も十分に認められたため合格と判定した。

以上のことから、本研究が博士学位論文に値するものであり、筆者が博士（作業療法学）に相当すると判定する。

氏名	伊藤 猛
学位の種類	博士（放射線学）
学位記番号	健博 第37号
学位授与の日付	平成23年9月30日
課程・論文の別	学位規則第4条第2項該当
学位論文題名	PET / MRI 3次元画像位置合わせに関する研究
論文審査委員	主査 教授 篠原 廣行 委員 教授 福士 政広 委員 教授 八木 一夫

論文の内容の要旨

血流や代謝の情報を多く含むPET (positron emission tomography) 画像と解剖学的情報を多く含むMRI (magnetic resonance imaging) 画像のソフトウェアによる自動位置合わせは、それぞれ単独で用いるよりも診断や治療精度の向上が期待できる有効な手法である。画像間の類似性を評価する指標には相互情報量 (mutual information: MI), 規格化相互情報量 (normalized mutual information: NMI), エントロピー相関係数 (entropy correlation coefficient: ECC) などが現在主に用いられている。相互情報量は画素値に直接依存せず、画素値の分布に依存することから、コントラストが大きく異なる異種モダリティ間での画像位置合わせに有効である。しかし、2つの画像が重なる領域の大きさ、統計雑音や空間分解能の違い、PET, SPECT 画像の集積低下部位などの影響によりしばしば位置ずれが生じる。現在それらの問題を改善する研究が行われている。

本研究では、これらの問題を解決する新たな指標として画素単位をベースにした個別エントロピー相関係数 (pixel-based individual entropy correlation coefficient: IECC) を提案した。IECCの特徴はエントロピーの分布を考慮した指標である点である。従来の指標では、画像全体の中で多くの画素数を占めるバックグラウンドや雑音領域の情報が指標に大きな比重を与えており、機能情報や形態情報を多く含む脳組織やエッジ領域の情報の比重が小さい。本手法はエントロピーの分布を考慮することにより、それら解剖学的領域の比重を大きくし、バックグラウンドや雑音領域の情報の比重を抑えることを目的としている。これまでエントロピーの分布を考慮した指標は報告されておらず、新たな試みである。

比較する評価指標にはMI, NMI, ECCを用いた。対象は頭部のPET画像, MR画像とし、変形のない剛体変換による位置合わせを行った。シミュレーション画像と¹⁸F-fluorodeoxyglucose (FDG) PETとMRIの臨床画像を用い、平均誤差と標準偏差からIECCの有用性を検証した。PET画像には正常集積モデルと集積低下モデルを使用した。

本手法による位置合わせは従来の指標よりも正確性、精度ともに高い結果が得られた ($p < 0.01$)。特に集積低下PETモデルではより顕著に表れた。これらの結果より、IECCは3次元異種画像位置合わせ指標において有効な指標である。

学位論文審査の要旨

審査の結果

PET 画像にはMR 画像とは異なる統計雑音，画像再構成に伴う雑音，集積低下部位などが存在し，空間分解能の点でもMR 画像に比べ劣っている．相互情報量や規格化相互情報量は現在主流の画像位置合わせ指標であるが，それらが影響し画像位置合わせにおいて位置ずれが生じる．本研究では，それらの問題を解決する新たな指標として画素単位をベースにした個別エントロピー相関係数 (pixel-based individual entropy correlation coefficient: IECC) を提案した．IECC の特徴はエントロピーの分布を初めて考慮した指標である点である．従来の指標では，画像全体の中で多くの画素数を占めるバックグラウンドや雑音領域の情報が指標に大きな比重を与えており，機能情報や形態情報を多く含む脳組織やエッジ領域などの解剖学的領域の比重が小さい．提案手法はエントロピーの分布を考慮することにより，解剖学的領域の比重を大きくし，バックグラウンドや雑音領域の情報の比重を抑えることに成功した．開発した方法は独創性が高く従来の画像位置合わせ指標に比べ，高い正確性，精度，ロバスト性を有しており，臨床への幅広い応用が期待される．学位論文審査会での論文発表及び質問に対する応答は，自立した研究者としての博士の資質が十分に認められた．

最終試験の結果

主査，副査が本論文の関連分野について試問を行った．その結果，専門分野（医用画像情報学）について，高度な学力があることが認められ最終試験合格と判定した．

首都大学東京学報（学位論文）第 16 号

登録番号 23 (11)

平成 23 年 11 月発行

編集発行 公立大学法人首都大学東京経営企画室企画財務課
東京都新宿区西新宿二丁目 8 番 1 号
電 話 0 3 (5 3 2 0) 7 0 9 0

印 刷 鶴川印刷株式会社
東京都文京区本郷二丁目 2 2 番 1 2 号
電 話 0 3 (5 6 8 4) 0 5 7 1



古紙配合率 100%再生紙を使用しています