

博士學位論文

内容の要旨および審査の結果の要旨

第 7 号

1989年10月

京都産業大学

は し が き

本号は、学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条の規定による公表を目的とし、平成元年10月11日本学において博士の学位を授与した者の論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は、学位規則第5条第1項（いわゆる課程博士）によるものであり、乙は学位規則第5条第2項（いわゆる論文博士）によるものであることを示す。

目次

掲載順	学位記番号	学位の種類	氏名	論文題目	頁
1	甲経第1号	経済学博士	後藤 富士男	Estimates of the North Korean Gross Domestic Product 1956- 1959 (北朝鮮国内総生産の推計 1956- 1959)	(1)
2	乙理第3号	理学博士	辻 佳代子	Galois Theory of Differential Extension Fields of Nonzero Characteristic (標数が 0 でない微分拡大体のガロ ア理論)	(10)
3	乙理第4号	理学博士	Herbert W. Kroehl	NUMERICAL MODELING OF ELECTRODYNAMICS IN THE HIGH-LATITUDE IONOSPHERE UTILIZING GEOMAGNETIC VARIATION DATA: THE INSTANTANEOUS DISTRIBUTION OF LARGE-SCALE ELECTRIC FIELDS, CURRENTS AND HEATING (高緯度電離圏過程の数値モデリン グ)	(14)

氏名(本籍)	ことう ふじお 後藤 富士男 (石川県)
学位の種類	経済学博士
学位記番号	甲経第1号
学位授与年月日	平成元年10月11日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
論文題目	[主論文] Estimates of the North Korean Gross Domestic Product 1956-1959 (北朝鮮国内総生産の推計 1956-1959) [副論文] (1) 北朝鮮の鉱工業 ——生産指数の推計とその分析—— (2) Indexes of North Korean Industrial Output 1944- 1975
審査委員	主査 教授(経済学博士) 丹羽 春 喜 副査 教授(Ph. D) 小林 一 三 " 教授(経済学博士) 溝 川 喜 一

論文内容の要旨

学位申請者後藤富士男提出の主論文は、「北朝鮮」(朝鮮民主主義人民共和国)の経済について、西側非共産圏諸国で行なわれている標準方式(本研究作業の場合は旧SNA)にのっとった最終用途別の「国内総生産勘定(GDP勘定)」を推計・編成した研究作業の、詳細な報告書である(英文、328ページ)。言うまでもなく、このGDP勘定の体系のなかでは、「国内純生産(NDP)」も「実際施行価格」評価および「要素費用」評価の両方式で算定され、示されることになるので、この研究作業で推計された国民経済計算体系は、それを「国民所得勘定」と呼んでもさしつかえない。なお、推計対象年次は、1956~1959年の4カ年である。

周知のごとく、共産圏諸国のなかでも、北朝鮮については、とりわけ、諸種の経済情報

が秘匿されており、とくに、入手可能な統計データが極度に乏しい。したがって、これまで、その国民所得勘定ないし GDP 勘定もまったく不明なまま推移してきたが、申請者は、1950年代後半の比較的短い期間についてではあるが、西側方式での GDP 勘定の推計を行なったのである。この論文の PART I では、その推計作業の概要ならびに推計結果の総括が示され、また、それに依拠した若干の応用分析、たとえば、韓国、米国、ソ連、等の諸国の GDP 勘定と北朝鮮のそれとの比較分析が行なわれている。本論文の PART II では、このような北朝鮮 GDP 勘定の推計作業の方法や手順ならびに典拠資料などについて、きわめて詳細に叙述されており、むしろ、この PART II が、本論文における決定的に重要な部分をなしている。

この北朝鮮 GDP 勘定の推計は、その国民経済をマクロ的に「家計」「政府」および「企業」の三部門から成立しているものとして、それら三つの部門のそれぞれについて、“Income-Output” 対照表を推計・作成するという方法で進められている。また、それに関連して、この三部門のそれぞれにおいて、「貯蓄・投資バランス」の推計・吟味も行なわれている。そして、最後の算定段階として、これら三つの部門の勘定を結合・合算して、国民経済全体についてのマクロ的 GDP 勘定が導出されているのである。なお、「企業」部門においても、「家計」部門においても、農業と非農業とは別個に扱われており、とくに農業については、農産物の「商品化率」や農家の「現物自己消費」などについて、非常に複雑な手順による丹念な推計がなされたことが、詳細に叙述されている。

この後藤推計による北朝鮮 GDP 勘定は、まず最初、「実際施行価格」(established prices) 評価方式、——これは西側諸国の GDP 勘定における「市場価格」評価方式に対応するものであるが、——で算定されたのち、各最終用途項目(すなわち各最終需要項目)ごとに「間接税」および「補助金」の帰属状態を推計したうえで、「間接税マイナス補助金」を当該の各最終需要項目からそれぞれその帰属状況に応じて控除するという方法で、「要素費用」(factor cost) 評価方式での GDP 勘定が推計されている。

本論文では、このようにして推計された北朝鮮の GDP 勘定において、「実際施行価格」評価の場合の GDP の最終用途(最終需要)項目別構成比率と「要素費用」評価の場合のそれとの間に顕著な差異が生じること(普通、西側諸国の GDP 勘定ではそのような差異はほとんど生じない)、および、そのような顕著な差異の発現はソ連の GDP 勘定の場合に見られるものときわめてよく似たパターンのものであるということが、論述されている。

副論文(1)は、数年前に東京の国際関係共同研究所から刊行された申請者の著書『北朝鮮の鉱工業』（昭和56年11月刊）が、そのまま提出されたものである。これは、申請者が、今回の主論文のテーマである北朝鮮 GDP 勘定の推計の研究作業に取り組むようになるまえに行なったところの、北朝鮮の鉱工業生産指数（西側方式の純生産指数）の推計作業についての報告ならびにそれによる諸種の分析をまとめたものである。また、副論文(2)は、それを縮約した英文論文である。

実は、鉱工業生産指数については、わずかながら北朝鮮政府による公表指数（共産圏方式の粗生産指数）があるのであるが、それと上記の後藤推計指数（西側方式の純生産指数）とを比較してみると、後藤指数による成長率のほうが北朝鮮政府当局公表指数で示された成長率よりも、常に、一貫して低いというファインディングがえられる。このことは、西側諸国の研究者たちによるソ連鉱工業生産指数の推計作業においても常に見られる類似の現象と同質のものと思われるが、この副論文(1)および(2)においては、生産指数の推計作業についてのたんなる報告的叙述だけにとどまらず、そのような「政府当局公表指数」と「推計指数」とのあいだの「成長率の食い違い」現象についても、かなり詳細な分析がなされている。

論文調査結果の要旨

上述のごとく、申請者が提出した主論文は、西側非共産圏諸国で用いられている標準方式を適用して、北朝鮮経済について、GDP 勘定を推計した研究作業の報告をその内容としているものであるが、その推計対象年次としては、すでに記したごとく、1956～1959年の4カ年が取り上げられている。周知のごとく、北朝鮮は、その政府当局による公表統計資料が極端に乏しい国であるが、それでも、公表統計数値が相対的に最も数多く入手する期間がこの4カ年であるということにかんがみ、それが、この推計作業の対象期間として選ばれたものである。

実は、ただ単に統計データの入手可能性の点のみではなく、北朝鮮の経済にとっては、この1956～1959年という期間は、周知のごとく、「朝鮮戦争」後の復興が本格化した時期であり、農業集団化や私営企業の事実上の廃絶が行なわれて社会主義化が完了したときで

もあり、さらに、中国（中華人民共和国）の「大躍進政策」の強い影響を受けて、北朝鮮も、当時、きわめて野心的な高度成長政策を実施していたといった意味で、歴史的にきわめて重要な時期であったのである。したがって、ほぼ同時期の中国とならんで、この時期の北朝鮮の GDP 構造が推計されれば、そのことは、とくに経済史や比較経済体制論の領域においては、きわめて重要な意味を持つものとなるであろう。このほぼ同じ時期の中国経済の GDP 勘定を西側方式で推計した研究作業としては、Ta-Chung Liu と K. C. Yeh による共同推計作業、および、William Hollister の推計作業が、つとに著名である（Ta-Chung Liu and Kung-Chia Yeh, *The Economy of the Chinese Mainland, 1933-1959*, Princeton University Press, 1965, および、W. Hollister, *China's Gross National Product and Social Accounts, 1950-1957*, Illinois, The Free Press, 1958 参照）。しかし、北朝鮮経済については、そのような研究はこれまで皆無であったのである。本推計作業は、このような空白を埋めようとするものであり、学界の強い要請に応える意味を持つものとなっている。

申請者は、かれの推計作業を、バーグソン（Abram Bergson）のグループによるランド研究所（RAND Corporation）プロジェクトのソ連 GDP 勘定推計作業を範として実施している（バーグソンのグループのこのような業績としては、Abram Bergson, *Soviet National Income and Product in 1937*, Columbia University Press, 1953 からはじまる一連の報告書シリーズがきわめて著名である）。バーグソン・グループの古典的な諸報告書と同じく、この後藤論文でも、とくにその PART II において、推計プロセスや典拠資料についての記述が、きわめて詳細になされているのであるが、それを一読すれば、この後藤推計がバーグソン・グループのソ連経済についての推計に優に匹敵しうるほどの精度の高いものであることが、明らかになる。北朝鮮については、ソ連の場合よりも、統計データやそれに関連した諸情報がいっそう乏しいという格段に不利な研究条件にあることを考えると、これは、本研究作業のおどろくべき大成功であると言わねばならないであろう。おそらく、この「北朝鮮 GDP 勘定」の後藤推計は、いまから約36年前に公刊されて全世界のソ連経済研究に新しい時代を開くことになったところのバーグソンの「1937年ソ連 GDP 勘定」の推計に類比しうるような意味合いを、今後の学界全体における北朝鮮経済研究に対して持つようになるものと思われるのである。

後藤推計は、ソ連についてのバーグソン推計に範をとっているとはいえ、もとより、そ

のデッド・コピーであるというわけではない。もともと、ソ連の場合と比べて公表統計データが極端に乏しい北朝鮮経済については、バーグソンのグループが用いた算定方法をそのまま適用しうるようなケースは、むしろ例外であり、事実上、ほとんどすべての推計数値の算定方法は、申請者の創意工夫によるものである（このことは、今回提出された主論文の PART II を一見しさえすれば、疑問の余地なく明らかになることである）。しかし、そのことを別にしても、基本的な方法論の大筋において、本研究作業は、バーグソン・グループの方法論を、すくなくとも以下の5点において改良している。

- (1) バークソン推計では、“Income”と“Outlay”との対照表としての「勘定」は、「家計部門」と「政府および企業部門」の二部門について作成されており、それから GDP 勘定が導出されているのであるが、本研究作業では、「家計」「企業」「政府」の三部門のそれぞれについて、“Income”と“Outlay”の「対照表」としての勘定が作成されている。明らかに、バーグソン方式よりは後藤方式のほうが、三部門それぞれの勘定の内部での整合性のチェックや信頼度の吟味を行ないやすくなっており、また、推計プロセスを通じて、たえずそれを行なわざるをえないことになっている。さらに、本研究作業では、このような勘定体系の構成が用いられているため、経済全体についてのみならず、この三つの部門のそれぞれにおいても、「貯蓄・投資バランス」の吟味・分析を行ないうることになっているわけであり、事実、申請者は、本研究においては、それを綿密に行なっている（バーグソン方式では、そのような各部門それぞれについての「貯蓄・投資バランス」の吟味や分析が、簡単にはできないのである）。
- (2) GDP 勘定において、バーグソンは投資額を「残差」として算出しているのに対して、本研究作業では諸種の固有の資料により、投資額（とくに固定資本投資）を独立に推計しており、その結果、GDP 勘定の精度が、バーグソン方式による場合よりも、格段に高められている。
- (3) 共産圏の命令経済体制のもとでの価格形成方式が「平均費用からのマーク・アップ」原理によるものであるということに関連して、立地条件の悪い限界的企業の「計画損失」を立地条件の良い企業の収益から補填しているという慣行を無視した形で、バーグソン推計は行なわれていたのであるが（バーグソンの推計作業当時は、ソ連におけるこの慣行の詳細は不明であった）、本研究作業では、このことに関連したソ連経済についてのデータを巧妙に援用して、この慣行を明示的に推計プロセスのなかにとり入れている。

- (4) バーグソン推計では、問題点の指摘のみにとどまって、具体的な数字を割り出して示すにはいたらなかったところの「真の防衛支出額」を、後藤推計では、ある程度プロジェブルな方法で推計し、それを勘定体系のなかに組み入れている。
- (5) バーグソン推計では、「国内価格評価」の貿易収支（ないし経常収支）の推計が困難であるという理由から、その GDP 勘定では「対外勘定」を省略してしまっているのであるが、本研究作業では、これについても推計が行なわれ、GDP 勘定のなかに組み入れられている。

実は、申請者が執筆した本論文においては、上記の五つの点は、必ずしも、それをとくに際立たせようとするような論述がなされているわけではない。しかし、本論文を通読しさえすれば、むしろ控え目な叙述であるにもかかわらず、申請者が、少なくともこの五つの点についてはバーグソン（およびかれのグループ）の方法に大きな改良を加えたうえで、推計作業を進めてきたのだということを、はっきりと読みとることができるのである。すでに指摘しておいたように、利用可能な統計データが極端に乏しい北朝鮮経済について、このようにバーグソン・グループの推計と比べてさえ、むしろ、それよりもかなりすぐれた方法論を適用して、精密な国民経済計算勘定の算定に成功した申請者のこの研究成果は、従来の学界における北朝鮮経済研究の水準をはるかに超えるものであり、学界に対する非常に大きな貢献であって、真に賞賛に値するものであらうと考えられる。

申請者は、彼のこの推計作業において、「実際施行価格」(established prices) 評価の GDP 勘定の推計のみにとどまらず、「要素費用」(factor cost) 評価による GDP 勘定の推計をも行なっている。この場合も、間接税や補助金の額の推計やその帰属計算に、なみなみならぬ困難をともなったはずであるが、本研究作業においては、巧妙な数多くの工夫によって、それらの困難を克服し、この推計にも成功している。

以上に述べたごとく、この主論文では、北朝鮮経済についての、“Income-Outlay” 対照表の形式での「家計」「企業」「政府」の三部門それぞれにおける国民経済計算勘定の推計と、それに基づいた最終用途別 GDP 勘定（実際施行価格評価および要素費用評価）の推計プロセスの詳細な報告が主内容であるが、それに加えて、この推計の結果についての諸分析——ないし、この推計結果を用いた諸分析——も、かなり行なわれている。とくに、北朝鮮についてのこの後藤推計と、ソ連、韓国、米国、等の同種の GDP 勘定との比較分析は、興味深いものがある（主として本論文の PART I, IV 章）。このような国際比

較的な分析は、本論文においては、非常に簡潔になされているのであるが、そうであるにもかかわらず、たとえば、この1956～1959年の北朝鮮経済における「投資率」が異常に高いものであったことが判明するなど、そこで得られた諸種のファイナディングにも、きわめて重要なものが多い。

申請者は、この推計作業を行なうにあたって、日本語や英語による資料のほか、北朝鮮および韓国で刊行されたハングル文献やソ連で出版されたロシア語文献などを広範に渉猟し、きわめて要領よく必要なデータを収集している。また、この主論文は、英文で書かれているのであるが、その表現も明確である。本論文は、328ページにおよぶ大冊ではあるが、内容的には、むしろ、非常にコンパクトに仕上げられたまとまりの良い論文であると言ってよいであろう。

ここで、主論文とともに提出された副論文についても、若干、述べておきたい。実は、副論文(1)(2)が詳述しているところの北朝鮮鉱工業生産指数推計の研究作業も、きわめてすぐれた研究業績であり、それによって算定されえた「後藤推計指数」は、信頼度の高い西側方式「純生産指数」としては、現在のところ、北朝鮮の鉱工業についての唯一の生産指数であろうと思われ、その意義はきわめて大きい。とくに、この研究作業において行なわれたところの、北朝鮮の鋼鉄国内消費量からのアプローチによる「機械類生産指数」の推計プロセスは、——実は、この算定方法それ自体は、他の国についての生産指数推計において、すでに幾度か、他の研究者たちによって試みられた方法ではあるが、——利用可能な統計資料がきわめて制約されている北朝鮮についてのそのような推計を、ついに可能にしたという点において、その工夫の巧妙さは、すばらしいものがあると言わねばならない。

なお、この副論文(1)として提出された申請者の著書『北朝鮮の鉱工業』については、共産圏経済の専門家である吉井昌彦氏（神戸大学経済学部専任講師）が純学術的な本格的な書評を執筆・公表している（『経済経営論叢』24巻1号、147～151ページ所収）。この書評においても、北朝鮮鉱工業生産指数の推計というこの研究作業については、きわめて高い評価が与えられているのである。（ただし、吉井氏は、この書評のなかで、加重平均のためのウェートの算定方法に関して、後藤推計で採用された計算方法の一部が理論的な誤りをおかしているのではないのかと指摘しているのであるが（同誌、同号、150～151ページ）、われわれ調査委員が慎重に該当箇所を吟味してみたところ、その部分については、この後藤推計で用いられている計算方法も理論的な妥当性を有しているということが判明した。）

周知のごとく、バーグソン・グループのソ連 GDP 勘定推計の研究プロジェクトにおいては、キャプラン (Norman Kaplan), ムーアステーン (Richard Moorsteen), ポウエル (Raymond Powell) などの鉱工業生産指数推計の研究作業がそれを補完する重要な役割をはたしてきた。ちょうど、それと同じように、申請者の研究作業においても、この副論文は、主論文を補完する役割を担っている。とくに、主論文の研究作業がカバーしえなかった1960年代以降の北朝鮮経済について、副論文が比較的近年の1975年までの時期をカバーして推計と分析を行なっていることの意味は、貴重である。この副論文においても、データの不足という北朝鮮経済研究にとっての宿命的な悪条件を克服するべく、きわめて広範で丹念な資料の収集がなされている。また、この副論文では、主論文の場合と同様に、推計プロセスやその典拠についての記述がきわめて詳細かつ入念に行なわれている。学術書として、このことは当然とはいえ、やはり、これは賞賛に値する。おそらく、まず最初に、この副論文の「生産指数推計」のプロジェクトのためのデータ収集が、広範かつ組織的に行なわれたからこそ、その後、かなりの程度までそれを基盤として、主論文の「GDP 勘定推計」の研究作業を行なうことが可能になったのであろう。

また、この北朝鮮についての鉱工業生産指数の推計は、言うまでもなく、チャオ (Kang Chao) やフィールド (Robert Michael Field) などが試みたところの、ほぼ同じ時期における中国鉱工業を対象にした生産指数推計 (やはり、西側方式の純生産指数を推計した) の業績に類比しうるものである (Kang Chao, *The Rate and Pattern of Industrial Growth in Communist China*, The University of Michigan Press, 1965, および R. M. Field, "Chinese Communist Industrial Production", in Joint Economic Committee of the U. S. Congress, ed., *An Economic Profile of Mainland China*, F. A. Praeger, Publishers, 1968 をはじめとするフィールドの数多くの論文を参照)。すなわち、この副論文の業績とチャオやフィールドなどの研究結果を併用すれば、われわれは、ともに西側方式の算定による鉱工業生産指数を用いて、1950年代から1970年代にかけての時期における中国と北朝鮮の鉱工業について、詳細な比較分析を行なうことができるようになったわけである。このこともまた、比較経済体制論および東アジア経済論の研究領域における申請者の大きな貢献であるといわねばならないであろう。

なお、今回提出された主論文ならびに副論文の研究成果に関連しては、申請者は、上記のかれの著書のほかにも、すでに幾編もの学術論文を執筆し、学術雑誌などにおいてそれ

らを公表してきている。また、日本経済政策学会の大会における研究報告（副論文の内容については1983年5月、主論文の内容については1987年5月に報告が行なわれた）をはじめとして、学会や研究会等でも数次にわたって研究発表を行なっており、すでに、学界において高い評価を得ている。上記の吉井氏による書評も、そのことを示す一つの例であろう。

もとより、本論文（主論文および副論文(1)(2)）で叙述された研究作業は、完全無欠なものであるというわけではけっしてない。とくに、データ面での厳しい制約下においてあえて推計を進めようとしたために、やむなく設定された「単純化仮定」はかなり数多くあり、それらのなかには、今後、データ入手の困難という状況が多少ともあれ改善されうるようになったあかつきには、より一般性のある仮定や前提に改めることが必要なものが多い。たしかに、現在なお、入手可能なデータの極端な不足という大きな障壁が立ちほだかっているわけであろうが、しかし、そうではあっても、やはり、上記の主論文では推計対象からはずされたところの1960年代～80年代の北朝鮮経済についても、——その全部の年次についてはとうてい無理であるとしても、せめて幾つかの特定の年次についてだけでも、——今後、なんらかの方法でGDP勘定の推計がなされるべきであろう。

すでに、本論文（主論文）において、北朝鮮経済についてのGDP勘定推計のための基本的な方法論は確立されたものと考えてよいであろうから、工夫しだいでは、いわゆる「延長推計」の形で、1960年代～80年代のうちの幾つかの年次について北朝鮮経済のGDP勘定を推計するということは、けっして不可能なことではないであろう。そして、たとえ、暫定的・概算的なものであるにせよ、もしも、そのような新たな推計結果が、これまでの研究成果の上にさらに付け加えられることになりえたとするならば、本研究作業の価値は、まさに、飛躍的に高まることになるであろう。これこそ、今後期待されるべきものとして残されている非常に重要な課題であると言わねばならない。

以上、今後に残された課題もなお多いとはいえ、申請者が今回提出した論文は、主論文についても副論文についても、いずれも、その研究内容は学術的にきわめてすぐれており、また、その記述も詳細・入念であって、しかも、けっして冗長ではなく、よくまとまっている。したがって、申請者提出の当該論文（主論文および副論文(1)(2)）は、それを、本学大学院経済学研究科博士後期課程における博士学位論文として「合格」と判定する。

氏名(本籍)	つじ かよこ 辻 佳代子 (大阪府)
学位の種類	理学博士
学位記番号	乙理第3号
学位授与年月日	平成元年10月11日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
論文題目	Galois Theory of Differential Extension Fields of Nonzero Characteristic (標数が 0 でない微分拡大体のガロア理論)
審査委員	主査 教授(工学博士) 伊藤正美 副査 教授(理学博士) 水原 亮 " 教授(理学博士) 八杉 満利子

論文内容の要旨

標数 0 の微分体の Galois 理論は、Kolchinによりすでに完成されているが正標数の体の場合については、奥川光太郎による Picard-Vessiot 拡大の Galois 群に関する理論があるのみであった。申請論文で、著者は正標数の微分体の Galois 理論を構築している。論文は序節を含め十二の節から成っている。

以下、各節ごとに調査論文の内容を述べる。序節では、研究の背景、論文の骨組みおよび目的が述べられている。第一節は、論文に用いられる代数学、特に可換体論、からの概念、用語および結果の紹介である。第二節は、環および体への高階微分の導入である。

第三節から著者の研究が始まる。この節の目的は、標数 p の可換体 K の微分が、どのように代数的拡大体に拡張されるかを調べることにある。主要な結果は三つある。まず定理 3.1 では、微分体 K の代数的閉包 Ka の元 x に K の微分 ∂ が拡張される為の必要十分条件が与えられている。次に定理 3.2 では、 Ka の元 x に K のすべての微分が拡張される時、 x を含む K の微分拡大体のうち最小のものが存在することが証明されている。最後に定理 3.3 では、 Ka のなかに K の微分拡大体のうち最大のものが存在することが述べられている。この最大の微分拡大体は、 Ka 内の K の微分閉包とよばれ、 Δ を K に付随する微分の

集合とすると、 K_A と記される。 K_A は K の分離代数的閉包 K_s を含み、以後の理論展開に重要な役割をはたす。さらに、以上の結果の系として、 K_s および K_A の定数体が K の定数体 C の分離代数的閉包 C_s および代数閉包 C_a にそれぞれ一致することが示されている。

第四節は、後の展開に必要な微分体の種々の性質の奥川の講義録「Differential Algebra of Nonzero Characteristic」(Lectures in Mathematics, Department of Math., Kyoto Univ., 16, 1987)からの引用である。第五節では、微分代数学での K_A の役割は可換体論での代数的閉体の役割に相当するということをもつて K_A , K_i および K_∞ (K_i は K の純非分離代数的閉包, K_∞ は K_A と K_i の共通集合)の性質および相互関係を調べることにより実証している。微分体の Galois 理論の構築の為には、下記のような「万有微分拡大」を確定して考察の範囲を限定する必要がある。すなわち、微分体 K のある微分拡大体 U がその微分閉包に一致し、また U 内の K の任意の有限生成微分拡大体 L と L の任意の分離的有限生成微分拡大体 M とに対し、つねに U が L 上に M と微分同型な部分微分体を含むとき、 U を K の万有微分拡大とよぶ。

第六節では、万有微分拡大について論じている。まず定理 6.3 で、万有微分拡大の存在をその構成法と共に示し、さらに命題 6.4 では、 U の定数体 U_c が K の定数体 K_c 上、無限の超越次数をもつ代数的閉体になっていることを証明する。また後に技術的に用いるために定理 6.5 が与えられている。この節の結果は第三節および第五節と共に、最終結果に到る為の重要な段階になっている。第七節は、代数群に関する諸結果の Kolchin の著書「Differential Algebra and Algebraic Groups」(Academic Press, 1973)からの引用である。第八節では、微分体の Galois 理論の基本定理(第十節)の証明の準備の為、微分同型写像に関する若干の定義がなされ、関連する諸性質が議論されている。

第九節では、強正規微分拡大体が定義され、その Galois 群が調べられている。 N を K 上で体として有限生成な分離的微分拡大体とする。 N の K 上の任意の微分同型写像 σ が、 N の定数体 C 上で恒等写像になり、さらに $\sigma N \subset NU_c$ および $N \subset (\sigma N)U_c$ (ただし、 LM は体 L と M の合成体)を満たすとき(このような微分同型写像 σ を強い微分同型写像と呼ぶ)微分拡大体 N を K 上に強正規であると呼ぶ。このとき N の K 上の微分同型写像全体 $G(N/K)$ に万有体 U_c に関する C -群構造を入れることが出来る。定理 9.3 では、その次元が N/K の超越次数に等しいことが証明されている。さらに定理 9.4 では、 C' を U の中の C の拡大体とし U が $(NC')_A$ の万有微分拡大ならば、 NC' は KC' の強正規微分拡大体で C' を定

数体にもち、 $G(NC'/KC')$ が C -群 $G(N/K)$ から導入された C' -群となり $G(N/K)$ と同一視出来ることが示されている。

第十節は、調査論文の結論の部分であり最終結果が提示されている。すなわち、微分体 K とその強正規微分拡大体 N との中間微分体とその Galois 群の対応関係を調べている。次の諸結果が微分体の Galois 理論の基本定理である。

定理 10.5. (a) M を N と K の中間微分体とする。このとき、 $G(N/M)$ は $G(N/K)$ の C -閉部分群 (C は N の定数体) となる。さらに、 N における $G(N/M)$ の不変体 L は M の N 内の純非分離代数的閉包となり、 $G(N/M) = G(N/L)$ が成り立つ。(b) H を $G(N/K)$ の C -閉部分群とする。このとき、 H の N 内の不変体 L は N 内での純非分離代数的閉体となり、 $H = G(N/L)$ が成り立つ。

系 10.6. C を完全体 (すなわち、 $C = Ci$) とする。このとき、次のことが成り立つ。

(a) N と K の中間微分体 L が N 内での純非分離代数的閉体となるとき、 N は L 上に強正規で、 $G(N/L)$ は $G(N/K)$ の C -部分群とする。さらに、 N 内の $G(N/L)$ の不変体は L に一致する。

(b) H を G の C -部分群となる。このとき、 H の N 内の不変体 L は N 内での純非分離代数的閉体となる。さらに、 N は L 上に強正規かつ $H = G(N/L)$ となる。

定理 10.7. N を K 上強正規、かつ L を N と K の中間微分体とする。さらに、 N が L 上で分離的とする。このとき、次の四つの条件は同値である。

(a) N は K 上に強正規である。

(b) $L - K$ の任意の元 α に対して K 上の強い微分同型写像 τ で $\tau\alpha \neq \alpha$ なるものが存在する。

(c) $G(N/L)$ は $G(N/K)$ の正規部分群である。

(d) $G(N/L)$ の任意の元 σ に対して、 $\sigma L \subset LU$ となる。

これらの条件が満たされるとき、

$$G(N/L) \xrightarrow{\iota} G(N/K) \xrightarrow{\phi} G(L/K) \longrightarrow \{\text{identity}\}$$

は完全列で ϕ は C -準同型となる。ここに ι は自然な埋め込み、さらに $G(N/K)$ の各元 σ に対して $\phi(\sigma)$ は σ の L への制限とする。

第十一節は、最後の節であり強正規微分拡大体の実例としての Picard-Vessiot 拡大、および、定理 10.5 という Galois 対応が $C \neq Ci$ の場合には、系 10.6 という Galois 対応の姿に

ならない実例が与えられている。

論文調査結果の要旨

正標数の微分体の Galois 理論を構築することは、Kolchin が標数 0 の微分体の Galois 理論を完成して以来、長年の懸案であった。申請論文の著者は第十節においてこの問題に一つの決着をつけた。これは大きな業績である。この最終結果に到る為、第三節において微分閉包を構成し、第五節でその役割を明らかにした。これら二つの節における仕事は、これだけを取っても微分代数学の発展に大きく寄与するものといえる。第六節は、微分体の Galois 理論の構築の基礎となる部分である。ここで万有微分拡大が適宜に導入された。その存在証明には大きな工夫のあとがみられる。第七節以降の論文の構成は、概ね Kolchin の理論に倣っているが、正標数の場合には新しい多くの困難を克服しなければならなかった。

以上にみられるように、申請論文では問題の取り扱いに新しさと独自性が認められる。

申請論文の内容の普遍性を示す一例として、その結果の一部が、奥川の講義録中で Liouville 拡大等に関する結果に応用されていることが挙げられる。

参考論文も興味ある結果を提出しており、この分野における著者の今後の研究継続に対する意欲とその能力が認められる。

以上を総合して、申請論文が微分代数学に新しい知見をもたらすものとして、申請者は、理学博士の学位を授与される資格があるものと認める。

氏名(本籍)	Herbert W. Kroehl (アメリカ合衆国)
学位の種類	理学博士
学位記番号	乙理第4号
学位授与年月日	平成元年10月11日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
論文題目	NUMERICAL MODELING OF ELECTRODYNAMICS IN THE HIGH-LATITUDE IONOSPHERE UTILIZING GEOMAGNETIC VARIATION DATA: THE INSTANTANEOUS DISTRIBUTION OF LARGE- SCALE ELECTRIC FIELDS, CURRENTS AND HEATING (高緯度電離圏過程の数値モデリング)
審査委員	主査 教授(理学博士) 上出洋介 副査 教授(理学博士) 井上雄二 " 教授(理学博士) 坂本吉之

論文内容の要旨

地球磁場の変動は地球表面100-200箇所の観測所で常時記録されており、古くから磁気嵐の研究などに使われてきた。地球磁場擾乱(じょうらん)は、電離圏や磁気圏を流れる電流に関する貴重な情報を含み、とくに高緯度での擾乱は、太陽風エネルギーの磁気圏への流入機構、さらに磁気圏から電離圏、超高層大気へのエネルギー解放、散逸機構を探る上に決定的な情報を与える。しかし、地上での磁場データのみからでは、磁気擾乱をおこしている電流の位置と強さを一義的に決定することは不可能であり、今までの多くの研究では、(1)地磁気変動は単に地球全体の擾乱の尺度として使われたり、(2)電流がすべて電離層内を流れていると近似して(等価電流近似)、地上磁場記録から電流の強度分布が求められ、さらに電離層の電気伝導度を一様と仮定して、対応する電場分布・磁気圏内のプラズマ運動が計算されたりしていた。

博士学位申請論文において、Herbert W. Kroehl は、地球表面で観測された磁場変動分布、および極軌道人工衛星による降下荷電粒子と X 線画像データを用いて、高緯度電離圏の主要電磁気パラメータを計算し、磁気圏-電離圏相互作用の機構を考察している。

申請論文は 6 章から成っている。第 1 章では、序論として、この研究で扱う極域電離圏が太陽風-磁気圏-電離圏-大気圏にわたる大規模な相互作用の中で占める位置について述べている。とくに、太陽風-磁気圏ダイナモや磁気圏内の主要なプラズマ領域、さらに磁気圏-電離圏システムで発生する基本的な擾乱、サブストームについて説明し、これら地球周辺の電磁気的環境とその乱れを探る上に地上磁場記録の果たす役割の重要性を指摘している。

第 2 章では、オーロラと地上磁場変動に関する歴史的発見の記述に始まり、地球磁場擾乱の球面調和関数展開法、地球磁場データから等価電離層電流系を計算する数値解法の改良について述べ、サンプルの電流系を時間を追って調べている。続いて、いわゆる magnetogram-inversion 法に用いられている物理的・数学的仮定の妥当性を議論し、これらの仮定が電離層電気伝導度へどのように依存しているかを調べている。本研究で使う計算機実験のアルゴリズムに対する数値テストを試み、1970年代までの inversion 法との比較検討も行っている。章の最後に、この研究で扱ったいくつかの国際共同研究プロジェクトの概略を説明し、異なる時間・空間特性をもつサブストームが存在することを示唆している。

Magnetogram-inversion 法の重要な入力パラメータである電離層電気伝導度の定義、計算法、この数年間に提出された統計モデルを第 3 章で述べている。人工衛星の降下電子のエネルギー・フラックス観測から算出される電気伝導度の限界について言及し、これらの平均値から得られる“経験的”モデルは、個々のサブストーム時の電気伝導度分布を必ずしも正確に表わしていないことを指摘している。またレーダーによる電離層電子密度観測から推定した電気伝導度と地上磁場変動ベクトルとの関係を定量的に調べ、この関係はオーロラ・ジェット電流の向きや地方時に強く依存することを見出している。さらにこの章では、以下の章で積極的に使用する衛星からの X 線画像データから計算される電気伝導度が、個々のサブストーム変動を記述する上で、どのような点で統計モデルより優れているかについて説明している。

第 4 および 5 章では、magnetogram-inversion 数値モデリングを実際のデータに適用して得られた結果について述べている。第 4 章では、求められた電離層電流と沿磁力線電流

の空間分布を詳細に解析し、磁気圏－電離圏システムでの物理過程を代表する次の4つの電離層電流系を同定している：(1)惑星間空間と磁気圏の境界領域に直接結合している昼側のカスプ電流系、(2)磁気圏プラズマ対流によって駆動される朝方の西向きジェット電流、(3)同じように磁気圏プラズマ対流を反映する夕方の東向きジェット電流、(4)真夜中を中心としサブストーム過程によって誘起される西向きジェット電流。これら4つの電流系分布の時間変動、さらにそれぞれの電流系に伴う沿磁力線電流の計算値を、他の方法（たとえば、極軌道衛星やレーダー装置による）から得られている統計値と比較検討している。5分値のデータを使い、数多くの場合についてモデル計算を行った結果、磁気圏サブストーム過程の電離圏での形態を次のようにまとめている：典型的なサブストームは、まずカスプ電流と磁気圏プラズマ対流電流が増大することにより始まり、続いて夜側でサブストーム爆発が起こる。この段階でカスプ電流と東向きジェット電流強度が弱くなることもある。西向きジェット電流が最大に達した後、サブストームの回復は、夜側のサブストーム電流と対流電流が次第に減少していくことで特徴づけられる。

続く第5章では、計算から得られた電場とジュール熱の分布が示され、オーロラ・ジェット電流からのジュール熱を北半球について積分した大域的な値は、降下粒子熱に比べ、平均6倍も大きなエネルギーになっていることが見出されている。このことは、ジュール熱が熱圏物理学過程に重要なエネルギー要素であることを確認するものである。また、最近提出された統計モデルにはカスプ領域の重要性は直接表われてはいなかったが、惑星間磁場が北向きのときやサブストーム活動が低いときは、このカスプ領域はジュール熱の重要な源であることを強調している。さらに、夜側の3つの電流系においては、ジェット電流の赤道側の部分は電気伝導度に強く支配され、極側の部分は電場に大きく支配されていることも指摘している。

第5章ではさらに、上記4つの電離層電流系と惑星間空間磁場との関係をも調べ、極域電流系が太陽風－磁気圏相互作用の度合の変化に対し比較的短いタイムスケールで反応することを見出している。たとえば、カスプ電流は惑星間空間磁場の経度成分に強く支配されていることや、惑星間空間磁場が長期間北向きの場合、(a)プラズマ対流電流（上記2）、(3)が逆転し、高緯度へ移動すること、(b)極冠域のプラズマ運動が異常になること、を示唆している。このことは、惑星間空間磁場が南向きのときには惑星間磁場と“融合”している地球磁気圏の磁力線のほとんどが、北向きのときには、もはや“融合”していないこと

を示す重要な発見であることを強調している。

最後の第6章では、これら一連の研究でえられた高緯度電離圏過程に関する結果を太陽-地球系物理学の観点からとらえて議論を展開し、この分野の今後歩むべき方向を示唆している。

以上をまとめると、申請者 Herbert W. Kroehl が本論文によって新たに貢献した点は次のとおりである: (1)人工衛星のデータから現実的な電離層電気伝導度を計算したこと, (2)非一様な電離層電気伝導度を入力できるように magnetogram-inversion 法を改良したこと, (3)高緯度電離層の電流のみならず, 電場・沿磁力線電流・ジェット電流からのジュール熱も計算したこと, (4)これらのパラメータの変動をサブストームの発達および惑星間空間磁場に基づいて調査したこと, (5)電離層電流には4つの異なるシステムが存在していることを見つけ, それぞれの発生機構を考察したこと。

「参考論文」

1. Magnetic substorm characteristics described by magnetic potential maps —— 地球磁場を球関数展開し, 緯度に対する新しい荷重関数を考案した論文。10個のサブストームにこの方法を適用し, サブストームの緯度方向への発達の特性を見つけている。
2. Space environment monitoring by low-altitude operational satellites —— DMSP, NOAA, TIROS などの低高度極軌道衛星のデータを組み合わせれば, 極冠の大きさを10-51分ごとにモニターできることを強調し, 経験モデルによって電離層のホール/ピダソン電気伝導度を求めることができる可能性を論じている。
3. High latitude indices of electric and magnetic variability during the CDAW-6 intervals —— 国際共同研究期間 CDAW-6 中の磁気圏ダイナミクスについて, 改良 magnetogram-inversion 法を使って, 高緯度の電場/磁場の乱れを表す活動指数を提案。
4. A concise review of the utility of geomagnetic data to estimate Joule heat production —— 極光ジェット電流から放出されるジュール熱の大きさを, 地球磁場擾乱のデータから計算するいくつかの方法について総合報告を行い, それぞれの方法の利点と欠点を論じた論文。

論文調査結果の要旨

地上で観測される磁場変動は、地球をかこむ電離層の下部において水平に流れる電流、ならびに地球磁力線に沿って電離層に流れる電流によっておこされていることは、長年にわたる地球磁気学研究者達の考察結果として主張されていたことである。しかし、地上における磁場変動観測結果を解析して“三次元”電流分布を追求する試みが開始されたのは1970年代後半からである。数学的見地から述べれば、地上の磁場変動観測結果のみから、対応する二次元水平電流分布を求めることは可能であるが、沿磁力線電流分布まで含めた三次元電流分布は一義的には求められないという宿命的事情があるためである。

Herbert W. Kroehlによる学位申請論文は、地球上各地で観測されている磁場変動記録を勢力的に解析し、極域電離層の電気伝導度世界分布と組み合わせて地球周辺空間における三次元電流分布を算出し、サブストーム機構を論じた研究成果をまとめたものである。本論文はこの分野の従来の研究と比較し、数値モデリングの技術、衛星データ、データの取り扱い方ともに新しく、かつ電離圏パラメータの5分毎の値を計算しているため、高緯度電離圏擾乱の分布のみならずサブストーム時間変動をも取り扱うことができ、得られた結果は極めて有意である。本研究で示されたように、統計モデルによらずに、刻々のデータに基く電離圏パラメータのモデリングから、高緯度電離圏諸量のより現実的な相互関係を知ることができる。とくに従来の地磁気データのみ、あるいは汎世界的な磁気活動指数を使った研究では議論できなかった、電位パターン、沿磁力線電流分布のサブストーム・惑星間空間磁場依存性を総合的に調べ、4つの電流系を提出していることは、今後の太陽-地球系でのエネルギー収支を考える上に重要な基盤を与えるものである。なお、予備調査委員として本論文の評価を行った 福島直 東京大学名誉教授より、「これらの研究成果は、太陽風と地球磁気圏との相互作用の結果生じている地球周辺空間電磁擾乱の機構の解明に対する寄与がきわめて大きい。したがって本論文は理学博士学位論文にふさわしい価値が十分にあると認める。」という見解を得ている。

本調査委員会は、申請書類を慎重に調査し、論文の内容に加え、研究テーマの背景、関連事項について申請者に試問し、的確な回答を得ている。また、申請者が物理学、数学の基礎的事項に加え、磁気圏、電離圏の性質についての最新の知識を有し、関連文献を深く評価する能力をもっていることが確認された。

以上を総合し、申請者 Herbert W. Kroehl の申請論文は理学博士の学位論文に値すると認める。