

数学・統計学・オペレーションズリサーチ*

Subject benchmark statement: Mathematics, statistics and operational research

まえがき

専門分野における評価基準書 subject benchmark statements (以降, 単に「評価基準書」という) は, 大学などの学術機関が, 特定の学問分野や領域における教育プログラムの性格と特性を説明する手段を提供している. それはまた, 学習者が学位取得などの最終評価に値するような能力と達成度に関する標準的なレベルに関する基準をも与えるものである.

評価基準書は, 同時期に策定された他の基準書とともに, 優等学士号⁽¹⁾ (bachelor's degree with honours) の要件についても言及している. また, 評価基準書の中には, 修士号授与に関する指針を提示しているものもある.

評価基準書は, 様々な目的に使用される. たとえば, 大学などの高等教育機関 (higher education institutes = HEIs) が, ある学問分野の新規のプログラムを企画し展開する際の重要な外部参考資料ともなる. 評価基準書は, プログラムにおける学習成果と達成度を明確に規定するための基本的なガイダンスを提供するが, その学問分野における詳細なカリキュラムを指定するものではない.

評価基準書は, 高等教育機関がその内部で教育の質の保証を追求する際の支援も行う. 基準書の利用により, ある特定のプログラムで指定される学習成果を, 基本的に合意される基準に照らし合わせて審査, 評価することができる. それはまた, プログラムを新規に作成したりあるいは既存のプログラムを改訂したりする際に, それらが柔軟でかつ革新的であるための議論の刺激にもなる. 高等教育機関における教育プログラムの企画, 遂行ないしは再評価の支援のために, この基準書の使用により, 教育水準とその質に対し, 制度上負うべき責任を強調する動きを支援するものともなる.

評価基準書は, これから学習しようとする学生や, 彼らを雇用しようとする雇用者が, その学問分野では, どのような教育がなされ, どのような能力の獲得がなされるのかという情報を得るために用いられることもあろう.

この基準書で示された内容と, それぞれの学問分野の教育機関や専門家により個別に作られた基準との間の関係の吟味は, 個々の高等教育機関がその内容を詳細に考える上で重要な手掛かりとなる.

本評価基準書は, 2002年に作成された基準書の改訂版である. これは, 本年出版された全

* JINSE の責任において翻訳した. 英語版原典の翻訳・転載については, The Quality Assurance Agency for Higher Education より許可を得ている. © The Quality Assurance Agency for Higher Education 2007

学問分野における評価基準書の一部として、高等教育質保証機構 (QAA) が改訂作業を実施した。その学問分野のために選ばれた専門家グループにより、当初の基準書の内容の精査と改訂作業が行われた。ここで提示した改訂評価基準書は、多くの専門家と利害関係者グループによる十分な協議を経たものである。

QAA は、この評価基準書、ならびに関連した学問分野におけるその分野の評価基準書を出版、配布している。

障害者平等義務法 (disability equality duty = DED) が 2006 年 12 月 4 日に施行された。

DED⁽²⁾ は、高等教育機関を含む国家諸機関に、障害者の雇用機会均等などの問題への先駆的な取り組みを要請している。その義務は、障害者差別禁止法の個人の権利を補っており、総じて障害者のための公共サービスや行政の成果の向上を目的としている。高等教育機関はそのような義務が確実に実行する責任を担っている。

人権平等委員会⁽³⁾ は、高等教育機関の義務の実施準備のための手引き⁽⁴⁾を発刊し、義務の推進方法の説明に役立つガイダンスを提供している。評価基準書がその一部であるところの学術的な基礎基盤⁽⁵⁾の構成を行う際には、高等教育機関はこの手引書を参照することが奨励されている。

評価基準書に加えて高等教育機関を支援するための追加情報は、16 歳以降の教育と関連サービスの提供者のための実施規約 (改訂版)⁽⁶⁾ と、高等教育の平等性と多様性の促進のために確立された平等促進ユニット (Equality Challenge Unit)⁽⁷⁾の中にも見ることができる。

(1) これはスコットランド単位と資格制度 (level 10)、ウェールズ単位資格 (level 6) と同等のものである。

(2) イングランド、スコットランド、ウェールズにおける

(3) 2007 年 10 月 1 日に機会平等委員会、人種差別委員会、障害者権利委員会が合併し、新たな人権平等委員会が発足した。

(4) 高等教育と障害者平等義務手引書で、イングランド、スコットランド、ウェールズにおける学長、副総長、理事会、高等教育大学の部長と HEIs のための手引き書。
www.equalityhumanrights.co/en/forbusinessesandorganisation/publicauthorities/disabilityequality/pages/disability.aspx 参照

(5) 学術的基礎構造とその中における評価基準書の役割
www.aqq.ac.uk/academicinfrastructure 参照

(6) 16 歳以降の教育と関連するサービスの提供者のための実施規約 (改訂版)
www.equalityhumanrights.com/en/publicationsandresources/Disability/Pades/Education.aspx 参照

(7) 平等課題ユニット www.ecu.ac.uk 参照

序文

2002年に、高等教育質保証機構(QAA)により、数学・統計学・オペレーションズリサーチ(Mathematics, Statistics and Operational Research=MSOR)分野の学部学生のための評価基準書が出版された。2006年にその改訂に着手するため、QAAは数学・統計学・オペレーションズリサーチの高等教育学術センターに、その分野の専門家グループの選出を要請した。

初版の科目評価基準書は、広くMSOR分野に好意的に受け入れられた。そこでは、包括的で実施可能な方法で、成績優秀者レベルのMSORプログラムが記述されることが認められた。この評価基準書はMSOR分野の関係者およびそれ以外の基準書の使用者に役立つものであった。改訂に先立ってQAAが行った予備調査では、初版の基準書はあまり改訂される必要はないであろうというのが大方の一致した見解であった。

評価基準書改訂グループはこの見解に基づき、2002年の初版にほぼ従って基準書の改訂に着手したが、実際のところほとんど改訂する必要を認めなかった。行われた変更は、記述内容のさらなる明確化と、実情に合わせた形での何ヶ所かの部分の内容の最新化であった。

2002年の初版では、基準書の守備範囲を数学の修士(MMath)相当の教育プログラムには広げなかった。改訂グループは、その審議の時点では基準書をこれらのプログラムを含むところまで拡張する価値があると認識はしたが、その拡張に関し、文案を起草し、公に意見を求めることはかなりの作業規模となることも理解した。したがって、本基準書の出版の遅れがないように、これまでと同様の範囲にとどめた形で基準書の改訂を行い、MMathタイプの教育プログラムを含ませるために、付録の形で現在の基準書に付すことにした。改訂グループは2008年にこの作業が完成するものと予測した。

改訂グループは、初版の評価基準書作成グループの卓越した作業、ならびにQAAの改訂作業への貢献に対し、心よりの謝意を表す。

2007年6月

1. 序論

1.1 数学・統計学：オペレーションズリサーチ (MSOR) の学問分野では、各学問の守備範囲が非常に広いことから、それぞれに共通するプログラムを探すことはほとんど不可能である。このグループの中に含まれている教育プログラムの多くは、グループ内における科目群の間よりも、それ以外の学問分野における教育プログラムと共有している部分が多い。統計学の解釈面を重視したプログラムの中におけるよりも、物理学や工学の方が、より多く数学的な内容を含んでいたりもするし、ビジネスの分野のほうが数学よりもよりオペレーションズリサーチの内容を含んでもいよう。

1.2 それにもかかわらず、統計学とオペレーションズリサーチは、従来から数理科学の一員とみなされ、プログラム間では重ならないとしても、個々の科目内容の間ではかなりの重複がある。この3つの学問分野は歴史的には結びついており、同じ学部内で教えられていることも多い。

1.3 これらの学問分野を一つの評価基準書で扱うことは可能であるかもしれないが、本書の使用者は、この領域に配置されるプログラム間にはきわめて大きな多様性があることを念頭に置く必要がある。さらに、この基準書の領域に明らかに入ると考えられるプログラムが数多くあるばかりでなく、部分的にこの範囲に入ると思われるプログラムもまた多くある。この基準書は適切な指標を提示するものではあるが、重要なことは、どの基準をどの特定プログラムに適用するかを決定するのは、常に使用者である個々の教育機関であるということである。

1.4 プログラムが焦点をあてている学問分野に基づく分類に加え、プログラムのスタイルとして考えられる重要な分類もある。ある教育プログラムは、その中で扱っている内容の背後にある理論的な側面を重要視し、問題解決のための抽象的かつ一般的な方法の導出や確立に重きを置くこともある。このようなプログラムでは、主として方法論の教授と学習が主たる内容を占め、一般的な理論や手法が多くの分野に応用を持つという観点からの教育がなされる。本基準書では、これを便宜上「理論ベースのプログラム」と呼ぶ。他のプログラムでは、数学的な結果はそれとして受け入れ、その性質と特徴および限界を知った上で、実際問題への適用に重きを置く場合もある。実際問題への応用を主眼とするという意味で、ここではこれを便宜上「実用ベースのプログラム」と呼ぶ。

1.5 完全に理論ベースのみ、あるいは実用ベースのみといった教育プログラムはほとんどないであろう。大部分のプログラムは、両者のアプローチの要素を持ち合わせており、両極端のプログラムの間にわたる広範囲のプログラムのスペクトラムのいずれかに位置する

ものとなる。プログラムの特性は必ずしもそのタイトルに反映されているとは限らず、プログラムの目的と目標こそが、スペクトラムの中でその位置を明らかにさせるのである。重要なことは、現存する全てのタイプのプログラムが、それぞれ違った形で教育上の価値を有するということである。このことは、この科目分野におけるプログラムの多様性を示す一面であろう。

1.6 'MSOR' という用語は、本基準書では特定の学問領域として使われる。この語は標準的な頭字語ではなく、ここでの目的にのみ使われることに注意する。つまりそれは、この基準書でカバーされる MSOR の分野を意味し、特段他の意味はない。「数理科学」という語は様々なタイプのプログラムのタイトルに現れ、なじみの深いものであることから、本領域を数理科学と表現すべきという考え方もあろうが、その語は、たとえば OR は理論物理よりも数理的なのかといった新たな問題も引き起こす恐れもあるため、ここでは特に MSOR なる語を用いている。

1.7 MSOR は、いろいろな意味で特別な性質をもつ学問分野である。学習および教授という観点からみると、この分野の特徴はまず累積的であるという点に現れる。またそれは長い歴史を持つある意味成熟した学問分野であり、これまでの多くの学問的成果の上に立ちさらに発展を遂げている分野であるということができる。このことは他の学問分野にも当てはまるのであるが、それでもこの特徴は MSOR プログラムにおける際立った特質であるといえる。このことは、学習成果の評価が、個々のモジュールに焦点をあててというよりむしろ、科目群全体を網羅した戦略レベルで設定される必要があることを意味し、優秀な学習者は、個々のモジュールレベルよりむしろ、プログラム全体でのレベルで評価されねばならない。すでに熟知されている特徴ではあるが、MSOR の評価得点は広い範囲で分布していて、これを考慮して学習者の習熟後が総合評価されねばならない。この事項に関しては、段落 2.1 から 2.4 と 4.5 で改めて述べる。

用語の説明

1.8 本評価基準書で用いる「プログラム」という語は、学部課程の修了のような最終的な評価を目指す学習者が従う全学習計画案を意味する。「モジュール」という語は、そのプログラムを構成する授業の個々のユニットを意味する。あるプログラムでは、それぞれが各学年内で展開されるよう綿密に築かれたモジュールの連鎖で構成されており、その多くが、おそらく最終学年は除いて必修となっているかもしれない。またあるプログラムでは、履修スケジュールや先修条件を満たした上で、しかるべき指導者の指導をもとに、学習者がいくつかのモジュールを自分なりに自由に選択して組み合わせることにより構成することもある。プログラムの大多数はその両極のプログラム（必修と自由選択）の要素を持ち合わせており、多くの場合、そのような広いスペクトラムでの選択が可能ないようにデザイ

ンされている。

1.9 本評価基準書では、ほとんどのプログラムの継続期間を3年としているが、例外として4年のものもある。3年は、通常的全日制学生が必要とする長さである。MSORプログラムの中には、通信教育を含むパートタイム様式のものもある。学習者がこの種のプログラムを完了するには、より多くの時間がかかるのが通常で、時として（上限はあるもの）かなりの時間がかかることもある。

1.10 本基準書はイギリス (UK) 全土に適用するものであるが、スコットランドの伝統的教育は英国の他の地域とは多少異なっていることを忘れてはならない。とりわけ、スコットランドでは全日制学生は4年で学位取得プログラムを完了することが標準であるが、それはほぼ他の地域の3年間の優等学位と同等である。通常、1年次のスコットランドのプログラムは、他地域のそれと比べ、広範にわたるかもしくはややレベルが低いものとなっている。

1.11 この基準書における、学科 (department(s)) とは、当該教育機関におけるサブユニットで、プログラムのデザイン、実施および管理を担う単位を指す。また、department に相当する語として division や school が使われることもある。

1.12 MSOR は非常に幅のある学問分野で、その中で相互に関係し合うが、また多くの他の学問分野とも相互に関係している。MSOR の学問分野の理解のためには、それらの相互関係について議論する必要がある。このためには、最初に MSOR の構成要素である3つの分野の性質が考慮されなければならない。

数学

1.13 数学は、古代ギリシャから初期文明を含む様々な文化を経た起源をもつ、それ自体大きな知的学問体系である。数学の起源は、測量学、機械の構造、商業といった、実際的な問題を解くための方法を系統的に発達させたことにある。ある特定の状況の細部を排除し、抽象的な方法論に特化して進化発展した数学は、その結果、幅広い応用分野と、多くの異なった問題の本質的かつ共通な特質を明瞭化するに至った。一般化と抽象化が数学の重要な特徴である。このことが抽象的存在に関する命題の論理的な証明へと数学を導いた。こうして数学は緻密で隙のない議論とともに発達し、それは、明確な仮定から導かれた確実で信頼できる結論をともなう論理的推論を含む科学へと発展した。その結果、数学は人間の思考の発達に際立った貢献を果たしている。初期の数学が依然として今日的な価値を持つ一方で、急速な発達をとげつつある学問でもある。たとえば、アンドリュー・ワイルズ (Andrew Wiles) の論文「フェルマーの最終定理 (Fermat's Last Theorem)」のような印象深い出来事が、数学は発展し続けるものという事実を人々の意識上に載せた。

1.14 数学の抽象的な研究は、それ自体知的な価値の探求であり、興奮と美を包含する世界への扉を開く。しかし、その主題は現実世界との関わりを失ってははいない。数学の目的の一つは、多くの分野で共通するパターンの発見であり、抽象的で一般的な関係の構築こそが、数学がほとんどすべての学問に応用可能であることの所以である。実際、数学は時としてパターン発見の研究分野と定義付けられたりもする。数学の研究の焦点は、パターンであれば何でもいいというものではもちろんなく、抽象的な対象間の正しい関係を映すパターンに当てられる。自分たちを取り巻く世界を理解するため、われわれは概してパターンを探すものである。パターンを見つけたり、見つけたと思ったりした時、われわれは数学に照らし合わせて、確認したパターンについてもっと知ろうとし、また単に実際に観察したもののみならずその背後にあるより一般的なパターンの存在に思いをはせるのである。例えば、幾何学を考えてみよう。幾何学 (geometry) という言葉は、本来は土地を測ることを意味したが、この事実から、この学問が、2500 年前の人々の営みにその端を発し、単なる測量を超えたより普遍的な構造の探求に発展してきたことがうかがわれるのである。

1.15 数学には極めて広い適用の可能性がある。数学は大半の科学技術の基礎であるばかりでなく、どんな学問であろうとも、モデル構築を要求するほとんど全ての状況に対してもその基礎となるのである。ここ数十年、数学の使用の爆発的成長が、従来の基盤である科学技術、エンジニアリング分野の外部で起こっている。このことは、おそらくまだ一般の人々にはよく知られていないのだが、例えば、コンピュータテクノロジーや CT スキャナーのような医療技術の下支えに、また、電子金融取引に必要な暗号手法や、宇宙探査ロケットの制御といった事柄の背後に数学が在るのである。

統計学

1.16 統計学の歴史は、数学ほどは長くない。その起源をたどると、二つの螺旋構造が分かる。一つ目は 17 世紀中頃の賭け事についての議論で、それが確率論を構築する最初の試みへとつながった。二つ目は、今日の公的統計と呼ばれるものであり、19 世紀にその類の集計が次第に現実のものとなった結果、データの表示、分類、解釈において新しい発展が見られた。今日的に見れば非常に初歩的なテクニックの記述統計学でしかないというものの、当時としてはかなり洞察力のあるもので、その活用を通して、多くの公共政策における目覚ましい進歩が見られた。ロンドンのコレラ発生の主な原因となったポンプの特定や、フローレンス・ナイチンゲールによる今日の広範な医療統計の先例などが含まれている。

1.17 確率論は今日、それ自身固有の研究分野と種々の応用分野において発展を遂げている。統計学は、限られたデータからその背後にある構造に関する推論を行う過程の中で、確率論を利用してきた。数学の箇所ですでに触れたが、この推論の課程はある意味でパ

ターンを探すことに他ならない。それは、データを収集、分析、解釈する全過程を包含し、今日では特に、観察研究と実験研究のためのデザインがより大きな関心事となっている。数学的な考え方と方法論が、現実問題におけるランダム性、偶然性、変動性、リスクを含む問題を解決するために用いられ、この理論と応用の相互作用こそが統計学の大きな特徴となっている。現実世界の大部分の事柄はこれらの特徴を有することから、特に医療、品質管理、マネジメントなどに代表されるように、自然科学、社会科学、ビジネス、経済などの多くの分野において、統計学の役割は増大しつつある。統計学は、限られたデータから得られる情報に基づいて決定がなされなければならないような、どのような場面にも適用される。特に近年の近年のコンピューティングパワー（計算力）の進歩により、統計的方法論はますます応用分野を広げつつある。

オペレーションズリサーチ

1.18 OR は、20 世紀に起こった比較的新しい学問分野である。第二次世界大戦中の活動の組織化に各分析手法の起源が多く見られる。それは、きわめて数学的な要素を持つ複雑な最適化プロセスから、あまり数学的ではないがある種の問題解決の方法まで、幅広い範囲にわたって焦点を当てている。その応用は、産業、ビジネス、商業など、また政府関係では、健康、社会福祉サービス、軍事といった多方面にわたり、重要に活用されている。それは現代における、重要な定量的な管理ツールの一つになった。

1.19 OR は多分、学問分野としては数学や統計学よりあまり注目されてはいない。しかし、OR ではモデル構築がきわめて重要な位置を占め、その面において数学と統計学に深くその基礎をおいている。この分野での問題解決と意思決定の側面は幅広い基盤を持ち、それらはさまざまな数学以外の学問においても重要な役割を果たす。例えば、産業心理学、社会学はとりわけ重要な分野であろう。このため、OR の教育プログラムは比較の実用ベースなものであることが多い。

1.20 「オペレーションズリサーチ」という語は次第になじみのあるものになってきているが、多くの教育機関では、これを「マネジメントサイエンス（経営科学）」のような、他のタイトルをその教育プログラムにつけていることに注目したい。このようなタイトルは、数学的内容は少なく非常に実用ベースのプログラムであることを表示している。それらのプログラムは、その構成方針の理由により、MSOR の評価基準書の範囲内には完全には収まらないかもしれない。

MSOR 内の関係

1.21 MSOR 内の 3 つの学問分野は互いに複雑に関係している。数学が基本領域であることは言うまでもない。他の 2 つは、実のところ数学自身そうなのであるが、数学をベース

にした問題解決やモデル構築のプロセスに焦点をあてる側面をもつ。さらに、これらのプロセスを通じ新たな問題が MSOR にフィードバックされ、時には新しい研究分野さえ生み出すのである。

1.22 統計学と OR は非常に数学的な視点から教授されることが多いが、両者は方法論中心で応用重視の視点からのアプローチもされる。このことが、この基準書が言及する理論ベースのプログラムと実用ベースのプログラムの差異を強く浮き彫りにする。

他学問との関係

1.23 MSOR の広範な適用可能性のため、それは物理学、化学、天文学、エンジニアリング、コンピュータサイエンス、経済学、会計学、保険数理、財務など多くの他の科目と様々なレベルでリンクしている。これら外部の学問分野との関係は、時には MSOR 内での関わり以上に強いものもある。これらのつながりの深さを示す例として、MSOR の専門家たちが、しばしば他の分野においてもその分野の専門家として認知されているということがあげられる。プログラムデザインの点では、これら他分野のプログラムの中には MSOR に非常に依存しているものがあり、それらの分野における評価基準書は、少なくともその一部において MSOR 科目の評価基準書と密接な関連を持っている。

MSOR 卒業生の職業

1.24 MSOR のプログラムを卒業した学生は、きわめて多様な職業の選択が可能となる。雇用主は、このプログラムの卒業生たちが、数式的、論理的思考と、かれらの特質である分析的な問題解決へのアプローチに精通しているであろうという理由で、彼らの知的能力と厳密な論理展開力を非常に高く評価する。

1.25 MSOR のスキルが明白に認識されている分野では、MSOR の卒業生は容易に仕事が探せるであろう。例えば、主要な産業技術の中心における数学者の仕事、医薬分野での多くの専門的な統計学者の仕事などがあげられる。もちろん、伝統的部門での指導職や学術的な調査の仕事も、極めて重要なものである。また、その他の仕事の機会も、大企業から小さな機関まで、ビジネス、商業、公共・民間セクターなどの業界全体に渡って多く存在する。雇用主は、MSOR 卒業生のユニークな知識と特殊な技能（科目評価基準書 3.21 から 3.24, 3.25 から 3.27 参照）に、高い価値を見出している。

1.26 MSOR の諸学会と専門家団体は協力して卒後キャリアに関するウェブサイトを開設している。 www.mathscareers.org.uk と www.rss.org.uk/careers と www.orsoc.org.uk/careers を参照されたい。

1.27 MSOR の教育プログラムの多様性の持つ価値は、その中におけるどのようなプログラムを履修したかを問わず、卒業生たちがすぐに適当な職を見つけられるという事実からも証明される。プログラムはこれまで社会の急速な変化に素早く対応してきている。その良い例として、ファイナンス分野で数学への関心が急激に高まっており、それはとりわけ重要な雇用分野になっていることがあげられる。多くの教育機関は、そのような発展に応じて、新しいモジュール、時には全く新しいプログラムを提供している。いずれにせよ、MSOR 評価基準書は、そのような柔軟性と革新をいささかも抑制するものではない。

2. MSOR の特性と範囲

MSOR の累積的特質

2.1 MSOR に含まれる学問分野における教授科目は、多くの場合累積的であるという特徴を持つ。何が教えられ、何が学習されるかは、かなりの部分、それ以前に学習した内容に依存する。このことは、他の学問に比して MSOR に際立って見られる特徴である。MSOR プログラムは、それまでに扱われた教科内容を考慮し、その上への積み重ねとして科目を配置するという形式でデザインされなければならない。初級、中級に相当する分野がカバーされるまで、純粋数学の上級領域が扱われてはならない。応用分野の授業科目の開発においては、その分野での特質を吟味したうえで、要求されている方法と技術がそれまでに扱われていることを常に確認する必要がある。このことは、実用ベースのプログラムより理論ベースのプログラムへの制約となるかもしれないが、実用ベースのプログラムであっても、あることが教授される前にそれに関係した事柄が前もって理解されていることが必要である。

2.2 MSOR の累積的な特性は、プログラムをどこから開始し、そして、このプログラムの卒業生が到達すると予想されるレベルの設定に大きく影響を与える。異なるプログラムは異なるエントリー基準でデザインされるが、MSOR プログラムを学びたいと思う学生の多様性を考えれば、それは当然そうあるべきである。総じて、科目分野全般に渡り、異なる知識レベル、スキル、能力が身に付けられなければならない。

2.3 前もってその分野に関する知識のある学習者や、たとえば他の国などから移ってきたような、他の教育機関から移動してきた学習者のケースに対応して、既習の知識に合わせるという問題が生じる。正式な資格認定までは至らないにせよ、学生が今後の学習内容に対して必要とされる知識をどの程度まで持ち合わせているかを入学選考担当者は判断することが必要である。このように、規則内での配慮はもちろん、ある種の柔軟性が求められるのである。

2.4 MSOR の累積的特性は、さらなる重要な結果を持ち合わせている。これは、学習内容

が身に付くまでに非常に時間がかかるものであり、学習者はそれを学んだ後しばらく時間が経ってから初めて、それが何を意味するのかが完全に理解されたりするのである。しかし、もしあるトピックを学習した直後に、その内容に関する評価が行われるのであれば、学習内容の吸収の過程が完了していないので、課題の習得や評価のねらいと目標の達成を確かめることは難しいと言えよう。このことの重要性は、戦略計画レベルでの学習成果の設定について論じた 1.7 項において述べたところである。この事実は、プログラムの評価者がプログラムの評価の際に認識しておかなくてはならない。また同じ理由で、MSOR のプログラムを、容易に評価できるねらいと目標にのみ制限してはならない。

MSOR プログラムの特質

2.5 MSOR 分野の特別な性質、プログラムが提供するものの広範性と多様性について、再度強調しておく。

2.6 MSOR プログラムは、その多岐にわたる異なった対象と広い学問的背景によってその学習者を魅了するであろう。すでに指摘したように、雇用の可能性はあらゆるところに存在している。プログラムが内包する多様性は計り知れないほど有益であり、硬直化した基準で測られる類のものではない。したがって、MSOR 科目評価基準書は、決して国全体あるいはすべての学問領域に普遍的に適用されるような種類のものではないという QAA の見解と一致するものである。

2.7 提供されるプログラムの多様性は、そのプログラムが理論ベースと実用ベースの間の極めて広範囲のスペクトラムに位置する場所や、プログラム内での科目の選択性の幅に起因する。あるプログラムでは、ある学問分野における特定の内容が非常に深い形で開発され、別のプログラムでは、幅広い領域をカバーする広範な活動に向かって開発が進められている。きわめて理論ベースなプログラムの卒業生は、同じトピックを実用ベースのプログラムで学習した卒業生に比べ、その分野固有の知識と理解をより十分に習得するであろう。また、その一部が他の学問分野と密接に結びついているのが特徴の MSOR プログラムにおいては、その学問分野における知識と理解がより強調されるであろう。

2.8 多様性のさらなる重要な源は、多くの場合、教授スタッフの学術上の専門的な興味に存する。学部生のための MSOR プログラムは、知識の開拓者レベルへの到達は期待していないが、研究活動を活発に行っているその分野での専門家から教えることは、学習者にとって刺激的な経験であるに違いない。MSOR プログラムが提示する教材の選択は、もちろんそれが主に教育的価値で決められるとはいえ、しばしば教授スタッフの研究内容と専門的な興味によって影響される。もちろん、これらはプログラムデザインの背景にある主要な要因ではないが、活気に満ち、知的冒険心を刺激する学習経験を提供するという

点で重要である。

2.9 その多様性にもかかわらず、全ての MSOR プログラムの基本的な特徴は特定され得る。全てのプログラムは、学習者に基本知識と考え方の確実な理解と、ある分野に固有な知識の習得を目的としている。理論ベースのプログラムであろうと実用ベースのプログラムであろうと、教育内容の正確な理解と、厳密な方法による問題解決の方法を繰り返し教えることが強調される。これによって、MSOR 自身あるいは他の応用分野で、挑戦的な問題解決をやり遂げることができるのである。また、卒業生が学んだ分析力を通じて能力をさらに開発する可能性についても強調されている。

2.10 多くの MSOR プログラムは、とりわけ最終学年において、核となる本質的な学習内容を特定化するとともに、多くの選択肢をも提供する。これについてはセクション3で詳しく述べる。本質的にモジュール式のプログラムであっても、通常、基本となる必修モジュールのセットは提供されている。

2.11 MSOR プログラムは、3つのそれぞれの分野で、単一専攻課程プログラムを提供している。これらの中では通常、数学プログラムに最も多い学習者がいる。統計学のみプログラムではそこでの学習者は比較的少なく、ORのみではさらに少なくなる。個々の分野での学習者の数は、プログラムのタイトルと定義の多重性のため、大学入学者にかかわる出版物や高等教育統計機構によってもたらされる統計数字から、読みとることは難しい。

2.12 数学の単一専攻課程プログラムは、必修ではないのだが、ほとんど常に統計学のモジュールを含んでいる。OR に関しても、しばしば選択されるモジュールが見られる。他の2教科の単一専攻課程プログラムは、ほとんどの場合数学を含んでいる。数学は、これら2つの領域においても重要な位置を占め、特に理論ベースの統計プログラムでは典型的にそうになっている。その一方で、数学が全体のほんの一部分の割合しか占めないプログラムもある。これは、実用ベースの OR プログラムに典型的にみられる。

2.13 MSOR のプログラムの中には、MSOR のうちの2つの分野、あるいは3つの独立した分野の学習を結びつけるものもある。例として、純粋数学、応用数学、統計の幅広い範囲のプログラムがある。プログラムのタイトルからは、どのタイプのものか明らかでないものもある。例えば、単に「数学」とタイトルされるプログラムが、幅広いアプローチを示すものとして使われたり、またある教育機関では、数学そのものに深く根ざしたプログラムを示すものとして使われたりするるのである。プログラムの性質は、タイトルではなくその目的と目標から明らかになるのである。

2.14 プログラムが、単独での学位を目指すものかあるいは複数の分野のジョイントでの

学位を目指すものであるかは、教育機関がどのような構成になっているか、あるいは全ての教育指導が同じ学科あるいは学部で行われるかに依存する。評価基準の目的では、MSOR 評価基準書は、単独での学位取得プログラムでもジョイントでの学位取得プログラムでも同様に適用できる。

2.15 MSOR プログラムは、その中で提供されているモジュール以外のものとして、他の学問分野における教育プログラムのモジュールのうちのいくつかを履修する機会を提供する。一般的な例としては、会計学、経済、外国言語のモジュールがある。そのような他の領域のモジュールの選択は、卒業後の職業選択に資するという目的だけではなく、それらの中に数学的な分析を必要としている問題が内在していることに起因していて、そのこと自身、MSOR の分野の学習においてきわめて重要な側面を有している。これらのモジュールは、その分野における学部学科で教えられ、その場合、それは当該分野の専門家に教えられるものと同じモジュールであることも、そうでない場合もある。一般論として、MSOR 評価基準書は、この種の「外部」モジュールまで及ぶことはできない。ただし、「外部」モジュールがプログラムの特質全体に影響を与える限りにおいてはこの限りではない。

4年プログラム

2.16 3年プログラムが基準であるイングランド、ウェールズ、北アイルランドで実施されている学問の伝統に触れた 2.17 から 2.19 で 4年プログラムについて言及した。1.10 で述べたように、スコットランドの伝統は幾分異なっており、4年プログラムが基準である。2.17 から 2.19 で論じるプログラムに必要な年限については、スコットランドでは1年加算する必要がある。

2.17 4年間の数学修士号 (MMath) のタイプのプログラムは、1992年の数学者の委員会の審議の結果開発され、その後政府へ説明された。大学での数学の内容の変更により、大学院の学問に備える十分な準備ができるプログラム、あるいは、多数の学生に厳しい要求をしないで、卒業後の仕事内容が要求するのと同程度の数学的な知識と技術を与えるプログラムをデザインすることは困難だ、ということが主張された。その結果、このタイプ（現在、通常、総合修士プログラムと呼ばれるもの）のプログラムの確立が合意され、学部生のプログラムと同じ方法で開発された。同様のプログラムが、物理、化学、エンジニアリングにみられる。MSOR プログラムでは MMath や MSci というタイトルが一般的だが、例えば MMathSat のような他のタイトルのものもいくつかある。そのようなプログラムは現在幅広く提供されている。それらはもともと研究の広さよりも、深さを追及してデザインされた。MSOR 評価基準書は、明らかにそれらと関連しているが、現在のところそれらを含んではデザインされていない。それらを含む評価基準書の付録が開発されるであろう。

2.18 4年プログラムで全く異なっていたものはサンドイッチプログラムで、そこでは学習者は、監督者のもと、産業、ビジネス、商業の専門的な部署で、インターンとして1年（時に2回の分割した期間を）費やす。大学の中には、学習者が希望すればそのような機会を提供し、あるプログラムでは学習者にそのような経験を積むよう要求するものもある。その場合、学生のインターンシップのための基礎となるインフラの整備とチューターによるサポートが必要となる。これらのプログラムの学問的構成要素は、通常、学習者がこのようなインターンシップを受けるか受けないかによって全く影響は受けないので、MSOR評価基準書は、そのまま適用することができる。

2.19 これと似た状況が、学習者が海外（一般にヨーロッパ）の教育機関で1年過ごした場合である。そのようなプログラムは、MSOR科目として共有でき、その場合は、2.30から2.33で述べられる外国語学習によるジョイントプログラムのための評価アレンジメントに対応する。そのようなものは、MSOR科目で比較的小さな構成の言語トレーニングのプログラムであることもある。この状況は、2.15で述べられたものと似ている。教育機関は、国が異なることによりすべての教育課程が同じにはなり得ないことを認識しつつ、海外で受けるMSORの内容の学習と、UKで受ける残りの部分のMSORプログラムがうまくかみ合うような特別な配慮を確実に行わなければならない。

数学に焦点をあてたプログラム

2.20 典型的な数学のプログラムには、連続数学、離散数学、論理的推論、数学的な問題解決、数学モデリングなどがある。厳密な数学的証明は、理論ベースのプログラムでは非常に重要である。多くのプログラムは、確率論と統計学の基本を含む。典型的なプログラムの要素については3.8から3.20までで述べる。これらのプログラムは、単一の独立したモジュールというより、モジュールのセットで構成されることが多い。

2.21 数学理論、方法、技術の応用は、数学の他の分野か、あるいは明らかに異なった応用分野や、多くの場合その両者に渡って探求されるであろう。そのような分野とは、力学、統計学、オペレーションズリサーチ、物理学、天文学、化学、生物学、エンジニアリング、財政学、経済学、保険学などである。プログラムはその目的と対象に従って、ある特定の分野に焦点をあてることになる。

2.22 応用分野でのモジュールは、その科目を展開する別の学部で教えられることもあろうが、そこでは、それはその分野の専門家が教えるモジュールと同じものか、あるいは異なるものであるかもしれない。しかしながら多くの場合、指導は数学の学部で行われる。一つの例は数理物理で、これは英国の数学科において多くの数学の研究者が取り組んでい

る科目である。数学の学部で教えられるモジュールは、そうである必要はないにもかかわらず、本質と形式において、他の学部で教えられるものと異なる傾向にある。数理物理の例は、多くの点で数学は、MSOR 科目評価基準書に含まれる OR に対してと同じくらい、違う評価基準書がある物理学に近いという事実を物語っている。

統計学に焦点を当てたプログラム

2.23 典型的な統計学のプログラムについては 2.20 で述べた。それらはまた、データに基づく研究、サンプルからの推論を行うための確率ベースのモデル化、統計理論、統計の様々な分野への応用、および得られた結果を的確に伝えるコミュニケーション手段などにより、事象のもつ不確定性を理解しかつそれらを管理するための方策を含んでいる。

2.24 統計学の分野に見られるプログラム要素は、数学分野でのプログラムに加え、データの視覚化、推論、尤度、線形および非線形のモデリング、実験計画、確率過程と時系列、ベイズ流の推論、コンピュータ統計学、および統計解析専用のコンピュータパッケージの使用などを含む。

2.25 統計学のプログラムは、多くの応用分野からの問題を扱うことで特徴付けられる。その範囲は、生物学、化学、医学、薬学、エンジニアリング、地理学、考古学、環境科学、保険学、経済学、経営学、法律など様々である。これらの分野では、しばしば各学部で教授される独立したモジュールも利用可能である。

オペレーションリサーチズに焦点を当てたプログラム

2.26 OR におけるプログラムには、多くの異なったタイトルが付けられている。OR という言葉がタイトルに付けられている場合もあるし、他のタイトルとしては、ビジネス決定理論、ビジネスシステムモデリング、経営科学、などがある。最後のものについては、タイトルだけでは、MSOR のものであるかどうか判断できないかもしれない。

2.27 OR のプログラムは本来、複雑な事象のモデルの確立に関連しているが、それらの事象では解析的な解が得られにくいものが多く存在する。本来の問題の文脈の中における結果の解釈がとりわけ重要である。数学的および非数学的な側面の両者がモデリングには必要である。数学的な側面では、線形および非線形計画法、整数計画法、動的計画法などのような数理計画法が中心的话题となる。また 2.20 に関連して、数学の領域（特に離散数学）が、また、2.23 及び 2.24 に関連して統計学の領域も含まれる傾向にある。

2.28 プログラム要素は、OR 分野のなかでプログラムが焦点を当てているものに拠る。それらは、数理計画法、組み合わせ分析、グラフとネットワーク、スケジューリングと逐次

モデル，ゲーム理論，決定分析，決定サポートシステム，在庫管理モデル，シミュレーションモデリング，発見的方法論，ソフトシステムメソッドなどからなるであろう。

2.29 統計学の場合と同様，OR のプログラムは，さまざまな種類の応用分野に関係するところに特徴がある。分野としては，製造と生産，健康関連分野，企業戦略プランニング，輸送，物流と拠点配置，など他にも多い。これらの分野では，しばしばそれら特有の分野で教授される独立したモジュールも利用することができる。

ジョイントプログラム

2.30 MSOR における授業科目は，ジョイントプログラムとして構成されることも多い。実際，2.13 で述べられたように，異なる MSOR 科目の要素をつなぎながら，MSOR の中に全体を位置させるプログラムが多い。

2.31 他の学問分野とのジョイントプログラムに関しては，他の学問分野におけるプログラムと同様，MSOR 科目と他の学問との構成比は，多対少あるいは 50 対 50 である（時に，少対多の割合であることもある）。そのようなプログラムの評価基準は，すでに他の場所で述べた特別の問題を提起している。それらのうち MSOR の部分は，MSOR 評価基準書に入る。MSOR の内容が全体より少ない（時には，かなり少ない）プログラムであっても MSOR の部分は，MSOR 評価基準書により評価されるであろう。

2.32 モジュールからなるプログラムでは，より複雑な問題が起こる。そこでは，学習者はできる限り選択可能な広範囲のモジュールによりプログラムを組み立てる。そのようなプログラムが MSOR 要素を含んでいて，その MSOR の内容が全体よりはるかに少ない割合のプログラムにも，MSOR 評価基準書は適応可能である。

2.33 ジョイントプログラムの命名については注意が必要である。場合によっては，2つ（あるいは2つ以上）の学問分野が互いをサポートしあうよう計画的に開発されているものがある。MSOR の例でいえば，数学と統計学のプログラムがそうである。その他の場合では，授業科目は互いに並行又は独立して展開される。数学と言語のプログラムはこのタイプにあたる。教育機関の中には，後者のような場合はジョイントプログラムとしていて，前者のタイプは2科目の単独専攻課程としているものもある。いずれにせよ，この2つのタイプのプログラムは，同一のあるいはよく似たタイトルを持っていることが多い。他の多くの領域でそうであるように，プログラムの特性はその目的と目標によって明らかにされるのである。

他のプログラムにおける MSOR 科目

2.34 MSOR 科目は、それらが、他の分野のプログラムに必然的に現れるという点で、全ての学問の中で独特である。例えば、数学はエンジニアリングあるいは自然科学において鍵となる役割を果たし、統計学は環境分野や社会科学に広く使われ、統計学とオペレーションズリサーチは、ともに経営学にとって重要である。他のプログラムにおける MSOR 科目のスタイルと表現法は、通常、MSOR プログラムのそれとは異なる。多くの場合、MSOR 科目は、MSOR 学部の教員によって教授されるが、一方でそのプログラムが基礎を置く学部によって教えられることもある。他のプログラムは、それらの中における MSOR の位置づけに注意をはらい、それが適切である場合には MSOR の要素は当該分野の評価基準書の中に組み込まれている。しかし一般に、MSOR 評価基準書は、他分野での学習評価などには適用されない。

2.35 MSOR 科目は一般に、高等教育プログラムへのエントリー資格を持たないような学習者への準備プログラムとして用いられることもある。繰り返しになるが、MSOR 評価基準書はそのような場合には直接適用できないが、そのようなプログラムのデザインの際には参考として訳に立つであろう。

MSOR プログラムの機関認定

2.36 王立統計学会 (The Royal Statistical Society = RSS) は、その制定する基準に照らし合わせて、教育プログラムに対する認証評価を行っている。認証評価を受けたプログラムの卒業生は、個人からの申請によって申請によって自動的に Graduate Statistician となる資格を有する。認証評価されていないプログラムの卒業生であっても、そのプログラムにおいて統計学の比率が十分にあれば、個人の申請により Graduate Statistician として認可される可能性がある。Graduate Statistician であり、その後適当な実務上の経験を加えることにより Chartered Statistician の地位が与えられる。

2.37 数学応用協会 (The Institute of Mathematics and Its Applications) は、その制定する要求事項に合致した場合、MSOR のプログラムを認証評価し、Chartered Mathematician の地位を与えている。このプログラムの卒業生は、申請により Graduate Membership の地位が与えられ、さらにプロフェッショナルとしての経験を重ねることにより Corporate Membership が与えられる。

2.38 MSOR プログラムの卒業生は、適切な科目を履修し、それらに対し十分に高い基準で合格すれば、一般に、他の多くの職能団体、例えば会計事務や保険数理士のような団体の試験を一部免除されるという優遇措置もある。

3. 知識、理解と技能

序論

3.1 セクション2で述べたように、この基準書でカバーされる MSOR の一般科目分野は非常に広範である。したがって、この分野の卒業生に期待される知識と技術は同様に幅広い範囲に渡る。

3.2 そのような卒業生は、MSOR 内の特定の分野に固有の知識と技術を持ち合わせている。この基準書では、そのような固有の知識と技術を、分野固有 (subject-specific) と呼ぶ。高レベルの学習内容の知識と技術は、卒業生間で必然的に異なるものとなる。というのも、当該学問分野内でどのような科目群を履修したかは、その分野の卒業生間でかなり異なっているからである。この多様性は MSOR 分野の当然の特徴であり、歓迎されるものであって決して制限されてはならない。さらに、教育プログラムの開発段階においては、新しい研究分野の包含は、学問領域のダイナミズムをさらに推し進めるという意味で必要不可欠なことである。しかしながら、ある程度の範囲内ではあるが、プログラムの卒業生が習得した分野固有の知識と技術を識別することは可能である。

3.3 多様性は、その上にそれらが確実に展開されるための基礎を必要とする。この基準書でカバーされる連続的な科目群においては、ある科目群の下に基礎的な科目群を必要とする、というような階層構造が必要である。この階層構造はプログラム全体に渡って存在する。基礎のうちの大部分は、通常プログラムの初期段階に配置されることが多いが、必ずしもすべてがそうであるとは限らないということを知っておく必要もある。同様に、プログラムの初期段階がすべて基礎のために費やされるというものでもない。多くのプログラムでは、必要とされる知識が整っているという条件の下で、より発展的な内容や応用的な内容が、プログラムの初期の段階で始められることもある。

3.4 上記の理由で、MSOR 評価基準書がカバーするプログラムの全卒業生のために、分野固有の知識の総合的なリストを構築しようとすることは意味がない。そのようなリストは、あまりにも規範的に過ぎ、既存のプログラムに不必要で望まない修正を強要し、何ら意味ある恩恵を与えないであろう。

3.5 しかしながら、ある種の知識体系は、1年間の学習内容全般に渡って広がる水平方向のテーマと、数年にまたがって続く垂直方向のテーマとして特徴付けられるかもしれない。この種の捉え方により、3.8 から 3.20 で述べられる、MSOR 分野の卒業生が習得しているべき分野固有の知識と理解の内容を大局的にみることができる。

3.6 MSOR 分野の卒業生は、より一般的な高い技術を所有している。その例として、彼ら

には、高度な数学の基礎知識があり、プログラムの卒業生の多くは、コンピューティングの応用に精通しているであろう。

3.7 したがって、下記のセクションに記載した内容は、MSOR 評価基準書が適用される全てのプログラムに当てはまる。「卒業生」という言葉は、MSOR 内の特定の科目分野や、プログラムのスタイルによる条件付けがないならば、そのようなプログラムからの卒業生すべてを指して使われる。

分野固有の知識と理解

一般原則

3.8 MSOR の全卒業生は、専攻分野にふさわしい数学的方法論と技術の知識および理解と、MSOR に展開される多く科目群の中の特定の範囲のものに関する学習成果を持ち合わせる。加えて、プログラムの卒業生の多くは、自分の専攻科目の応用対象として最低限 1 つの応用分野を持ち、そこで用いられる理念や手法の適切な理解のために必要な努力を行っている。応用分野の性質と何がそこで学習されるかは、プログラムが理論ベースであるかあるいは実用ベースであるかによって異なるものとなる。プログラムが焦点を当てている対象によって、卒業生の獲得した知識・技術は異なるのである。

方法と技術

3.9 全卒業生は、彼らのプログラムにふさわしい数学的方法論と技術、およびそれらを使う能力を有している。全てのプログラムの共通点は、解析学と基礎的な線形代数を含むことである。他の方法論と技術は、そのプログラムの要求事項によって開発され、さらにその要求事項は、学生の到達レベルの決定にも大きく関わる。

3.10 例として、OR のプログラム卒業生は、条件付き最適化の知識と、資源配分の問題への応用、さまざまな意思決定プロセスのモデルに関するかなりの知識を持っている。その一方で、物理学やエンジニアリングにおける数学の応用に関するプログラムの卒業生は、微分方程式を扱うための方法に関する相応の深い知識を持っている。

3.11 これらの例は、MSOR プログラムのスペクトラムの中で特に離れているものを選んだのだが、それらがカバーする方法と技術は、互いに無関係なものではないということを強調したい。全てのプログラムは、数学の分野に関連する方法と技術を扱う。そして個々のプログラムは、それ自身の要求の度合いに応じて開発される。

数学の分野

3.12 理論ベースのプログラムの卒業生は、MSOR 専門分野のさまざまな範囲から得た知

識を持ち、各専門分野における主要な成果を理解している。すべての専門分野に共通な科目群として、代数学、解析学、幾何学、数論、微分方程式、連続体力学、数理物理学、確率論、統計学などがあげられるが、他にも多数ある。これらの科目群の知識と理解が、数学的な定式化と問題解決を通じて、多くの問題に対する数学的方法と技術に関する知識と理解をサポートする。

3.13 実用ベースのプログラムの卒業生も、MSORの専門分野の範囲から得た知識と理解の成果を持ち合わせている。しかしその知識は、モデルの数学的背景を深く理解するというより（時にはこの部分もカバーされているのだが）、モデルそのものの理解と、それがいつどのように適用されるかの理解をサポートするために、プログラムがデザインされるのが一般的である。

数学的思考と論理的プロセス

3.14 卒業生は、仮定とそれがどこで使われるかの重要性、ならびに仮定が成り立たない場合に起こり得る結果の重要性を理解するであろう。これは、仮定の妥当性と推論の妥当性との間の差異の理解を含んでいる。卒業生はまた、問題解決において用いられる数学的な理論や方法の展開における、一般化と抽象化のもたらす影響を完全に理解している。理論ベースのプログラムは、論理数学的な根拠と演繹的な推論の役割を強調する傾向にあり、しばしば、数学的な証明の手順を含む。実用ベースのプログラムは、問題解決に対して体系的な数学分析的アプローチを使用し、そのアプローチの理解を強調する。

3.15 この表題中にある知識と理解は、さまざまなプログラムにおける種々の活動、たとえばより高度な純粋数学における公理的アプローチや数学的モデリングの一般的な役割りに対し、有益な情報を提供する。

数値解析と数学計算

3.16 全卒業生は、プログラムが要求するレベルで、数学的な近似の過程とその限界についての知識と理解を持ち合わせている。

3.17 実用ベースプログラムの全卒業生と、理論ベースプログラムの卒業生の多くは、多くの場合複数の種類のコンピュータパッケージの利用を経験しているので、ある程度の数学的な計算の知識を有し理解している。彼らは取り上げられている問題に対するパッケージの妥当性を理解し、そのパッケージの基礎となる数学的なアルゴリズムの特質に気づいている。

モデリング

3.18 モデリングとは、適切な表記法を用いることにより、数学的もしくは統計的な手順で問題を定式化するプロセスである。全卒業生は、このプロセスの知識と理解を習得している。通常、問題は少なくとも一つの応用分野からのものであるが、MSOR 内の他の分野からのものもある。

3.19 実用ベースプログラムの全卒業生と、理論ベースプログラム卒業生の多くは、モデリングのテクニックのための条件と限界、モデルの実証と改訂の必要性に関する知識と理解を習得している。加えて、根底にある問題を分析し、可能な限りの解決をするための方法論、およびモデルの修正による影響の大きさを評価するためのモデルの使い方や、分析結果の解釈の仕方について、当然のことながら十分理解している。

学習の深さ

3.20 全卒業生は、特定分野において、高いレベルの知識と理解を所有する。プログラムにおける高度な学習内容は、プログラムのタイトルに反映されている。例えば、統計学を含むタイトルのプログラムを卒業した者は、統計的推論と多くの応用統計の本質的な理論の知識をかなりの部分を習得かつ理解している。数学というようなタイトルのプログラムは、この科目におけるかなり広い領域にわたるかもしれないが、それにもかかわらず、そのようなプログラムの卒業生は、いくつかの特定のトピックスに関する深い知識を有する。

分野固有のスキル

3.21 MSOR 卒業生は、非常に幅広い活動との関連で開発された、分野固有のスキルを習得している。これらのスキルは、卒業後に専門職業の場で起こる新しい問題の解決の際に、あるいは数学を含む多くの専門分野における作業からなる高度な学問研究の場において、十分活用できるほど高いレベルまで上達している。

3.22 多くの分野固有のスキルが、全 MSOR 卒業生に期待されている。これらの大部分は、学位プログラムの途中のある段階で客観的な評価を受けるが、それらのうちのいくつかは必ずしも明確な評価の対象とはならないことを認識しなければならない。分野固有のスキルのうちのいくつかは、全ての数学活動にわたり、科目内容の多くの分野に焦点を当てた評価に反映されている。

3.23 全 MSOR 卒業生に期待されている分野固有のスキルの多くは、問題が MSOR 内部から発生するのか、あるいは異なる応用分野から起こるのかという、問題ベースの科目分野としての MSOR の本質的特性に直接関係している。故に卒業生は、そのスキルを問題解決に適用することによって、鍵となる数学的な概念と成果を説明する能力を習得する。分析

と解決を容易にするため、またどのように数学的プロセス（ここでは解決の一部分のみをもたらしめているかもしれないという、妥当な理解を含んでいるのだが）をあてはめるかを把握するために、彼らは問題を理解し、問題の本質を抽象化し、記号の形で数学的に定式化できるのである。妥当な数学的プロセスを選択して適用し、仮説と結論の明確な識別を行い、論理的かつ数学的な議論を構築して発展させることができる。必要に応じて、数学的プロセスの支援と、詳しい情報の獲得のために、コンピュータと基本的な IT 設備を使い、それらから正確で明晰な数学的議論と結論を提示することができるのである。

3.24 MSOR の特定部門に焦点を当てたプログラムの卒業生は、これらの特定部門に関連した分野固有スキルを習得している。そのようなスキルの網羅的なリストの構築はあまり意味はないが、例として以下が考えられる。

- 純粋数学プログラムの卒業生は、論理的な推論と一般的な枠組みでの問題の解決、論理の明確な連鎖と抽象化に基づく問題設定とその解決に関するスキルを習得する。
- 物理学への数学の応用あるいは、理論物理学のプログラムの卒業生は、とりわけ、数学用語で物理理論を定式化する分野、解析的、数值的に方程式を解く分野、その解答の物理的解釈を与える分野に関連したスキルを習得する。
- 統計学プログラムの卒業生は、実験もしくは観察研究の計画と実施、ならびにそれらの結果得られるデータの分析に関わるスキルを習得する。
- OR プログラムの卒業生は、複雑な問題を最適化問題として定式化する技能、各種の問題が現れる文脈中での解決法の解釈に関連したスキルを習得する。

一般的スキル

3.25 MSOR 分野の卒業生は、MSOR 科目の学習経験により磨かれた、多くの一般的なスキルを獲得している。これらの科目は、MSOR 自身から起こる問題かあるいは応用分野からの問題かにかかわらず、本質的に問題解決のための学問である。したがって、卒業後の経験は、これまで学んだ数学の基礎学力と問題解決の分析的アプローチの基本精神に組み込まれるであろう。加えて、大部分の MSOR プログラムの重要な点は、ある一つの分野から得られる論理的知識を他の類似の分野に応用することである。応用の分野は、しばしばそれ自体がその分野における重要な研究のトピックであるが、学習プロセスの極めて重要な面は、一つの状況から他の状況に専門知識を移管したりすることで、多くの分野に共通した適応力を育むことである。

3.26 全 MSOR 卒業生に期待されている多くの基本スキルは、他のプログラムの卒業生のほうがより多く習得しているようなケースもある。分野固有のスキルの場合以上に、いくつかのものは必ずしも明確な評価を受けないということを認識しなければならない。

3.27 MSOR 卒業生は、書物、学術雑誌、インターネットなど、様々なメディアを使って、独力で学ぶ能力を含む、基本的学問スキルを所有するようになる。彼らはまた、問題の解決法とその結論の導出を通じて、辛抱強く貫徹して独力で問題に取り組むことができるようになり、時間の管理と自己管理の基本スキルを発達させる機会を持つようになる。彼らは、とりわけ新しい分野の新しい問題に取り組む迅速さを必要とする際には、柔軟性があり、問題を論理的に考察するために、また、分析的にアプローチするために、知識を一つの状況から他の状況へ変えることができる。彼らは、作業のあらゆる段階で、数学的基礎力の知識と推論に全面的に自信があり、数学的基礎力のスキルを高いレベルで発達させることができる。また、ワードプロセッサ、インターネットを使い、情報を得る能力などの基礎 IT スキルを持ち、これらのスキルを責任が取れるしっかりしたやり方で常に訓練し、成果の提示にあたっては参考文献などの情報源が適切に言及されるよう注意を払う。彼らは、議論に参加するため、理路整然と書くため、そして結果を明瞭に伝えるため、言語能力を含む基本的なコミュニケーション能力も持ち合わせる。必要に応じて、個人情報データを取り扱う際の機密・人権保護などに関して要求される敏感さを含む倫理的な知識をもつ。これら全ての能力は、一般的に MSOR 卒業生の雇用可能性を高める。なお、関連して 1.24 から 1.27 までを参照のこと。

4. 指導、学習と評価

序論

4.1 MSOR 科目の学生は、学習の過程で高度の概念的・抽象的考え方を要求されることで特徴づけられる。このことは、学習者に大きな試練と挑戦を与える一方で、その克服により相応の益も得られる。要求されるレベルの抽象性を有した上での事象の理解は、知的にきわめて困難であることも多くあるが、難しい考えを深く理解することは、しばしば努力に要した以上にふさわしい報酬を提供もしてくれる。新しい概念の習得は、それ自体満足に足る経験で、それを達成した学習者に将来同じような挑戦を受ける自信を与える。それはしばしば直接実際的な恩恵ももたらす。というのも、一度概念が理解されると類似の状況における問題解決法の習得は容易になるからである。

4.2 MSOR 卒業生は、抽象的論法、論理的推論および問題解決におけるかなりの能力を所有していることが期待され、そのため 1.24 から 1.27 で述べたように、多様な職業や専門職の雇用につくことが可能となる。教授と学習の方法は、単に抽象的な論法の能力ばかりでなく、学習者が独力で自己動機付けにより学習する能力、問題解決スキル、多くの分野の雇用で共通する知識とスキルをも要求する。

4.3 他のすべての学問と同じように、MSOR における教授法は、より広範な教育の実践における変化に伴って発展してきた。この状況は継続的であり、教育機関は変化する状況に

対応し続けることになる。たとえ革新が危険をはらむものであっても、また決して簡単にはやりとげられなくても、教育機関は明らかな長所を持つと認められる教育方法の開発を断念してはならない。その故、教育機関における判断と行動は、過度に細かく批判的であるべきではない。

4.4 基礎的な MSOR での教育を支援する形で多くのソフトウェアが開発され、また、Eラーニングの発達で、多様でかつ有用なソフトウェアが、MSOR の学習全般をサポートするようになった。加えて、コンピュータの使用と MSOR の教育支援のためのソフトウェアは、短時間のうちに広がりを見せた。この例として、MSOR の教育目的のための表計算ソフト、数式演算システム、高度数値解析と方程式の数値解析のための高機能のプログラム、データ分析とモデル構築のための統計パッケージ、OR プログラムの定式化と解析のための数学プログラムのパッケージの使用などがあげられる。

4.5 これらの様々な変化は、多様な学習指導と評価方法をもたらした。コンピュータの利用は、展開される教育プログラムのスタイル、科目、学習者のレベルや背景、学部の特別な興味関心、そして利用できるリソースによって著しく異なるかもしれない。

4.6 教育機関は、その教育目的に合った形での学習、指導、評価方法などを選択し採用する。学問分野の特性にもよるが、教員による通常の教室での講義における熱のこもった議論を見ることは、学習者の大きな利益になる。議論が拡張し発展する様を実際に見ることは必要で、またそのためには、教員が準備した教材を提示するためにかんがりの物理的なスペースを要する。一般に、黒板を使った講義は、現時点においても変わらぬ利点をもち続けている。そのような講義は通常、問題クラス、個別指導あるいは少人数のセミナーによってサポートされ、これらに対する人的サポートは、研究機関内の公式サポートセンター等によって提供される。加えて、教育機関が用いる方法としては、例えば、ワークショップ、グループワークやプロジェクトがある。どのような方法がとられるにせよ、学習者のニーズを反映させ、プログラムもしくはモジュールのねらいと学習の結果および教育の資源を反映させなくてはならない。学習、教授および評価の方法は定期的にレビューされなければならない。

4.7 前項 4.6 で顔の見える学習について述べたが、MSOR プログラムでは遠隔学習の利点も取り上げられなくてはならない。遠隔学習のためには、さまざまな機器や教授法および学習をサポートする人的配置などのインフラの整備が必要となる。遠隔学習で達成されるべき学習者の学習成果は、遠隔学習以外で行われる同じようなプログラムの成果と同様となるべきである。

教授法と学習

4.8 教育機関は、学習の機会と教授方法はプログラムとモジュールの目的と目標が適切に実現されるようにデザインされるべきだ、ということを常に念頭に置いている。それらは、学習者の知識と科目に対する熱意を育成し、学習のプロセスに従事し参加しているという意識を刺激する。それらは、深く学習を支援し、学習者が省察しかつ自らの学習に責任を持つことを支援し、彼らに学問的自信を与える。これらはもちろん、MSOR 評価基準書本来の一部として明確に認められている、というよりむしろ、教育機関の活動全てにわたる、非常に基本的な基準なのである。

4.9 MSOR 内の学習者は、学習内容に関する深い理解を達成するために、適切な課題をこなすことも加えたさまざまな学習活動を行う。遠隔学習でない限り、全てのプログラムは、様々な種類の講義と個人指導の両方を含む。これらの詳細な特性と、それに伴う種々のタイプの学習活動は、そのプログラムのスタイルを念頭に置きながら、MSOR 内の特定の学問分野の学習目標に照らし合わせた形で適切に決定されることになる。教育機関の中には、課外活動や付属するモジュールの配置によって、相応のスキルを開発させるような選択をするかもしれない。どのような学習活動と指導方法が使用されるにせよ、それらは学習者と望まれる学習目標の両方に対して適切であることが要求される。何が教えられ、それが実際どれほどよく学ばれ身に付けることができるかは、実施される方法そのものよりも重要なのである。

評価

4.10 教授法と学習（4.8 参照）に関しては、教育機関は、評価についての一般的な基準をもっているが、それは一般的に過ぎるため MSOR 評価基準書の一部としては認めることが困難である。これらの基準は、プログラムの妥当性、信頼性、公正性を評価するものであり、知識レベルとスキルの両面での評価を行うものである。また、学習と指導の目標に関する評価をサポートし、フィードバックの機会を与え、必要であれば外部評価（例えば、外部の評価者による評価）に委ねることもある。

4.11 学習活動に関して、学習者はプログラムやモジュールのねらいと学習成果、および評価される知識とスキルにより、さまざまな評価方法によって評価される。評価は、そこでのコンテキスト（文脈、状況）と目的に従って様々な形式によって実施され、学習者はそれら異なる評価形式のそれぞれに対し、それに見合った形で自らの理解度及び様々な能力を実証しなければならない。

4.12 MSOR 科目の評価は、数学的知識とその理解の程度にとどまるものではない。たとえば、多くのプログラムは、その目的と目標に照らし、身に付けた数学的な能力が種々

の応用分野において如何に活用されるか、統計的な推論ができるか、そして得られた成果を MSOR の文脈において的確に相手に伝えることができるかというコミュニケーション能力も評価の対象となる。

5. 評価基準書

5.1 MSOR 評価基準書でカバーされる基本的な科目分野は非常に幅広いことから、その領域の卒業生に期待される標準は、概して一般的なものにならざるを得ない。

5.2 MSOR のための評価基準は、「しきい値レベル」と「標準レベル」の2つによって定義される。

5.3 MSOR では、2つのレベル間の差異は、主として学習者の概念と技術に対する理解の深さ、学習者の知識の広さ、課題を遂行するために必要とするサポートとガイダンスの総量、学習者が解決しモデル化ができる問題の複雑さの程度、論理的な思考や証明の実行能力、それらを通して学習者が進歩した度合い、そして設備を利用して学習者が行う計算や操作の完成度による。

5.4 評価基準書の例えば「妥当な」という形容詞の解釈は、内部と外部の評価者の専門的判断による。

5.5 評価者の専門的判断は第一義的に重要である。それは、その評価が MSOR 卒業生の雇用可能性への知識と共に、プログラムにおけるこれまでの経験の蓄積に基づいているからである。

5.6 MSOR 分野における評価のための課題の設定には、かなりの専門的判断が伴う。

MSOR の筆記試験で問われる問題は、注意深く考えられなければならない。MSOR では、不適切な設問が課されてしまうと、学習者をその解答の結果で判定したくてもできなくなってしまう。設問は、レベルと内容が適切でなくてはならず、もしそうであれば、一定以上の能力を持ち、かつ準備を適切に行ってきた学習者であれば、MSOR の知識を使って与えられた時間内で問題を解くことができるであろう。設問は妥当な形式で出題され、曖昧さがあってはならない（あるケースでは、故意に曖昧に定義されていることもあるが）。このことは、もちろん全ての質問にあてはまるのだが、応用の場面で設定される問題解決を要求する設問であればなおさらである。

5.7 MSOR 科目の評価において、学習者が提出した答案の採点は、答えが一つに定まっているため特に専門的な判断が必要とされないと思われることがよくある。しかしたいい

の場合そうではない。例えば、学習者がモデル構築のプロセスについて説明しなければならない場合、あるいは、あるデータの分析結果を議論するとき、学習者の解答の専門的判断は、解答プロセスの評価に内在する本質的な部分なのである。学習者が提示した解答が、全く間違っているわけではないが若干の不備がある場合、あるいは明らかに正しい方法を使用しようとしているが成功していない場合、単位認定の際に、専門的な判断が要求されるのである。

5.8 MSOR の多くのタイプの評価では、周到に準備を行ないかつ能力も高い学習者に対する評価は通常、他の科目領域のものより高くなる傾向にある。とりわけ筆記試験ではそうである。完璧もしくはほぼ完璧な解答には、きわめて高い点数がつけられることが、他の学問領域より頻繁に生じるであろうし、逆に、MSOR における問題の特徴として、準備が十分でなかったり能力において劣っていたりする学習者にとっては、問題に全くといっていいほど手が付けられないといった事態も生じさせる。したがって、MSOR 分野の評価が、比較的広い範囲に分布することがよく見られ、これが学習者の能力の適切な相対評価につながるのである。教育機関は、MSOR の評価で見られる評価パターンが、他の教科のそれとはかなり異なるようだということ、MSOR での評価は、他の学問領域に比して、一般的な評価規則が適用され難いことを当然受け入れるであろう。

5.9 個々の学習者のパフォーマンスが、異なるモジュールによって非常に変化することは、この科目の固有の特徴である。学習者の中には、全てのモジュールに対してよい評価を得るものもいるかもしれない。しかし、最も優秀な学生でさえ、ある特定の MSOR の領域の理解が難しく、このことで、他では明らかによい成績をとるような評価結果（プロフィール）の中で、いくつかのモジュールにおいて低い評価しか得られないといったことが起こり得る。そのような場合は、学部学科の内外の評価者が、その学習者が優秀か否かを総合的に判断することもある。

5.10 同じように、なんとか到達のレベルに達しているような学習者は、しばしば多くのモジュールに不合格となり、わずかにいくつかのモジュールにのみ合格するような評価結果（プロフィール）となってしまうかもしれない。評価者は、そのような学習者が、その科目に対しある程度妥当な知識を提示し、許容され得るレベルへの達成にむけて前向きに努力していることを評価することにより、かなり低いレベルではあるが合格に値すると判断するかもしれない。

5.11 これらの理由で、MSOR 学習者の全般的な評価はしばしば、全体の平均点や複数の評価指標の組み合わせによってなされることが多い。そのような評価システムでは、全体的な達成度が学習者の成果として考慮される。個々のモジュールの合格は必ずしも全体の

パフォーマンスの評価には要求されないが、できればそうあるべきであるという見解は共有されている。5.8 で述べたように、MSOR では、一般的な枠組みでの評価規則は他に比べあまり適用しないし、それは専門家の判断を著しく侵害するものでもある。

しきい値レベル

5.12 5.1 および 5.11 で述べられた重要な点は、MSOR の「しきい値レベル」の評価基準を解釈するときに念頭に置かれなければならないということである。学習者は、全体としてそこで述べられている基準を満たさなくてはならないが、リストされている基準の一つ一つに合格する必要はない。

5.15 しきい値レベルに到達した卒業生の能力として、以下が要求される。

- 学習プログラムにおける基本的な知識を適切に理解していること
- 基本的な知識内での計算や操作をするスキルが適切なレベルであること
- この分野の核となる概念や原理をよく整備された文脈の中で応用し、そこで使われる技法やツールを適切に選択できること
- 論理的な推論の理解と、仮定と結論をきちんと示すこと
- 問題の数学的な定式化と適切な方法による解答の導出ができること
- 適度な正確性と明確性で、明瞭な推論と結論を示すこと
- 適切な基本スキルの提示
- 指導の下での専門的な業務の実施と、必要時の支援要請

標準レベル

5.14 5.1 および 5.11 で述べられた重要な点は、MSOR の「標準レベル」の評価基準を解釈するときに念頭に置かれなければならないということである。学習者は、全体としてそこで述べられている基準を満たさなくてはならないが、リストされている基準の一つ一つに合格する必要はない。

5.15 典型的なレベルに到達した卒業生の能力として、以下が要求される。

- 学習プログラムにおける主要な知識を適切に理解していること
- 主要な知識内での計算や操作をするスキルがある程度の高いレベルであること
- この分野の概念や原理全般を多少曖昧な状況においても応用し、そこで使われる技法やツールを適切に選択できること
- 論理的な推論を発展させ評価できること
- 問題の本質的な部分を抽象化させ、数学的な定式化と適切な方法による解答の導出ができること
- 正確性と明確性をもって明瞭な推論と結論を示すこと

- 適切な基本スキルの提示
- 独力での専門的な業務の実施と，必要時の支援要請

付録 A: 数学・統計学・オペレーションズリサーチ基準書の改訂メンバー

Professor Peter Giblin ピーター・ギブリン教授	Head of Departments of Mathematical Science in the UK 英国数理科学学部長
Gerald Goodall ゲラルド・グッダル	Royal Statistical Society 王立統計学会
Michael Grove マイケル・グローブ	Higher Education Academy Subject Center for MSOR 高等教育機構 MSOR サブジェクトセンター
Dr Stuart Johns スチュアート・ジョーンズ博士	Operational Research Society オペレーションズリサーチ学会
Professor Duncan Lawson (chair) ダンカン・ローソン教授 (議長)	Higher Education Academy Subject Center for MSOR 高等教育機構 MSOR サブジェクトセンター
Dr Niall Mackay ニール・マックアイ博士	London Mathematical Society ロンドン数学会
Professor Nigel Steele ニゲル・スティーアール教授	Institute of Mathematics and its Applications 数学応用協会

付録 B: 数学，統計学，オペレーションズリサーチ基準書の策定メンバー

2002 年オリジナルの数学，統計学，オペレーションズリサーチ科目基準書による

Professor Rob Archbold ロブ・アーキボールド教授	University of Aberdeen アバディーン大学
Professor Russell Cheng ラセル・チェン教授	University of Southampton サウサンプトン大学
Professor Neville Davies ネビル・デイビス教授	The Nottingham Trent University ノッティンガム トレント大学
Dr John Erdos ジョン・アードス博士	King's College London キングスカレッジ ロンドン
Dr Judy Goldfinch ジュディ・ゴールドフィンチ博士	Napier University ネピア大学
Mr Gerald Goodall ゲラルド・グッダール	Royal Statistical Society 王立統計学会
Mr Tony Palmer トニー・パーマー	De Montfort University ド・モントフォート大学
Professor Chris Robson (Chair)	University of Leeds

クリス・ロブソン教授	リーズ大学
Dr Stephen Ryrie	University of West England, Bristol
ステファン・リリー博士	ウエストイングランド, ブリストル大学
Professor Peter Saunders	King's College London
ピーター・ソーンダース教授	キングスカレッジ ロンドン
Dr Stephen Siklos	University of Cambridge
ステファン・シクロス博士	ケンブリッジ大学
Professor Joan Walsh	University of Manchester (retired)
ジョン・ウォルシュ教授	マンチェスター大学 (退職)

The quality Assurance Agency for High Education 高等教育質保証機構

Southgate House, Southgate Street, Gloucester, GL1 1UB, UK

Tel: 01452 557000, Fax: 01452 557070

Email comms@qaa.ac.uk

Web www.qaa.ac.uk

ISBN 978 1 84482 779 4

全ての QAA の出版物は当機構のサイト www.qaa.ac.uk にて入手可能

現在の出版物は下記にて入手可能

Linney Direct, Adamsway, Mansfield, NG18 4FN

Tel: 01623 450788, Fax: 01623 450481

Email qaa@linneydirect.com

登録チャリティー番号 1062746 及び SC037786

© The Quality Assurance Agency for Higher Education 2007:

www.qaa.ac.uk/Publications/InformationAndGuidance/Pages/Subject-benchmark-statement-Mathematics-statistics-and-operational-research.aspx.