

〈ORの潮流〉

ソ連のOR

坂 本 実*

1. はじめに

1971年～1975年は、第九次ソ連国民経済発展五ヶ年計画の期である。この計画での主要課題の一つは「全力をあげて、基礎科学と応用科学の研究の発展をはかり、その成果をもっとはやく国民経済に導入すること」であり、これに関係してこの計画で保証しなければならないことの一つは、「数学的方法と電算技術をもっとひろく国民経済に適用し、生産工程をオートメーション化し管理を改善するために、理論数学、応用数学、サイバネチックスの諸問題の研究をさらにつづけることであるとしている〔IV-1〕¹⁾。

このことが背景となって、西側でいうORをも含むこれらの分野の研究はいっそう盛んに進められ、ORに関する書物、論文が多く出版されるようになった。ORに属するテーマの研究は、経済学(経済-数学的方法)に関する研究機関、工学、数学、サイバネチックス関係の研究機関で行なわれ、その数はおそらく1,000個にも近いものと思われる(経済-数学的方法の研究が行なわれている機関は500以上ある〔IV-2〕)。ソ連においては、この分野における術語も統一されておらず、ますます新しい応用分野が開拓されている現状であって、ソ連のOR全般について述べることは、はなはだ困難である。

OR研究の推進の一つの中心となっているのは、科学アカデミー計算センターのマイジェーフ(H. H. Моисеев)とゲルメイエル(Ю. В. Гермейер, モスクワ大学の教授でもある)が指導するグループである(同センターには、IFORS参加協会、Technical Committee on Operations Researchが置かれている)。

最近、このマイジェーフがウシャコフ(И. А. Ушаков, 信頼性理論の研究者)とともに、ソ連におけるORの意義、歴史、現状について、論文「ソ連におけるORの業績」〔IV-3〕を発表した。この論

文は、OR全般について述べているが、文献の引用は1点(レーニンの手紙)しかなされていない。しかし、この論文は、ソ連におけるORの全ぼう、主要な成果を知り、ソ連におけるOR観を知る上に重要なものと思われるので、本稿では筆者の知る範囲で文献の明示を行ない、簡単な補足解説を行ないながら、この論文を中心にして、ソ連のORを眺めることにする。

この論文は、マイジェーフ、ゲルメイエルが中心となって開発したORの方法論が背景となっている。それについては、マイジェーフが編集するシリーズ「最適化とオペレーションズ・リサーチ」(〔III-1〕～〔III-9〕)の1冊、ゲルメイエル著『オペレーションズ・リサーチ理論入門』〔III-4〕に詳細に述べられている。なお、本誌前号の文献抄録の欄に、そのあらましについて述べておいた。

ここで、オペレーションズ・リサーチに対応するロシア語について述べておこう。それは、アメリカで出版されたOR書からの翻訳であって、Исследование Операций (イススレダパーニェ・オペラチー, オペレーションの研究)である。ときに、これとほぼ同じ意味でТеория Операций (オペレーションの理論)、Теория Исследования Операций (オペレーションズ・リサーチ理論)も使われることがある。ここでは、前者の言葉の略語として、ORを用い、ときに後者の2語の日本語訳を論文〔IV-3〕に従って用いることにする。

なおこれからの記述は、上記論文の要旨(単なる翻訳ではない)を直接話法の形式で、本稿の筆者の記述と併行させる形で行なうが、必要があれば、筆者の記述の部分に括弧〈 〉をつけることにする。

2. ORの定義、ソ連におけるその意義と歴史

「ORとは、人間の行動のあらゆる分野における意思決定の科学であって、確定した目的を達成するために必要な行動方法の研究であり、それらの中で最大の効果を保証する手段を選択することである」と定義している。〈この定義は、ソ連において

* 専修大学経営学部情報管理学科

1) 引用文献の明示は、末尾に示した分類とそのうちでの番号を記して行なう。

も広義な定義であって、「経済-数学的方法」(後述)における「意思決定の理論」(Теория принятия Решения)と同じものである。そこでは、ORはもっと狭義なものとされている。なお、入門書、教科書(たとえば、[IV-4], [IV-5])にも広義な上述の定義が使われている。

複雑な状況で決定を行なう場合には、とくにORが重要であり、この科学が果たす役割は、ソ連においてはとくに大きい。社会主義国の統一的経済機構の管理は複雑であるので、ソ連でできたその日から、今日のORが基礎としている方法、アプローチを形づくり、広く利用することが必要とされていた。その証拠として、レーニン(В. И. Ленин)が当時のロシア電化国家委員会議長に宛てた、1920年3月14日付の手紙をあげることができる(その一部の引用がある)。そこには、今日のORの方法論と概念の基礎となる基本的要素のすべて、とくに、複数指標による効果の評価、単一(効果判定)基準への統合、段階を追った解析の必要性が指摘されている。

こうして、ORの考え、採択した決定の評価の基礎づけの方法が、ソ連に生まれたのは1920年である。これを根拠づけるためには、上述のもの以外にも多数あげることができる。

ORは数学の分科ではないが、数学の果たす役割は、非常に大きい。ソ連におけるORの発展の特徴には、数学と現実問題との関係を重視する、チェビシェフ(П. Л. Чебышев)に始まるロシアの数学の伝統が反映されている。

この伝統によって、西側でのように、数学者と工学者との間の深い断絶はなく、オペレーションの理論〈OR〉の応用科学としての形成は第1級の数学者と、数学の道具をもった応用科学の代表者が参加することによってなされた。そのため、ソ連におけるORの研究は、その最初から、高等な数学のそれとは違っており、隣接科学とも必要な関連をもったものであって、この新しい科学の意義も広く理解されることとなった。

オペレーションとは、目的の達成に向けられた行動の集まりであって、その特別なものとして、他のオペレーションの目的を明らかにするための行動の集まりも含むものである。したがって、ORはシステム分析の基本問題をも扱い、複雑なシステムの研究にも利用できるものである。オペレーションをこのような広い意味に解釈することによって、それ自

体を科学の一分科と見なせる多くの方向を一つに集めて統合することができる。

目的をもつ行動のわずかなものが、なんらかの数学の問題を解くことによって研究できるにすぎないが、数学あるいはその分科での考えは、オペレーションの理論に重要な役割を果たすものである。

ソ連におけるORの系統だった発展は、その方法、概念によって一つにまとめることのできる三つの科学の方向、関数、汎関数の極値を求める問題、制御の質を考慮する問題、技術手段の効果を評価する問題に関する方向が生まれた1930年からであろう。

このように、ソ連には今日のORの源泉がありながらも、効果理論に関する情報が十分でなかったこともあって、カーリン(S. Karlin)、エイコフ(A. Ackoff)の本のようなアメリカで出版されたすぐれた本によって、ORはソ連にない新しい科学とみなされ(その各称も英語から翻訳され)、ソ連における伝統が忘れられていた。〈この論文[IV-3]は、今日ではOR理論に含まれている工学、数学の分科として、最適化法、制御理論、技術効果の評価の分野における研究、確率的方法をあげ、それらについて、その基礎段階およびその発展結果について述べている。これらの分野の成果は、ソ連のORの形成の歴史的意義をもつだけでなく、注目すべきものが多くあるので、文献をつけて、この論文に従って、さらに話を進めよう〉。

3. 最適化法

1930年代末、数学者カントロビッチ(Л. В. Канторович)とガブリン(М. К. Гавурич)は、今日の線形計画法の基礎に相当する数学の問題を、ある実現の問題を解こうとして、研究した[IV-6]〈なお、カントロビッチは、最近この分野での入門書[IV-7]を著した〉。

戦争中は、この面での新しい理論的研究もこの方法を用いて実際的な問題を解くこともなされなかった。ところが、戦後、'30年代末から、'40年代の初めにかけて事情はすっかり変わり、カントロビッチの考えと方法は強力な支持を得て、発展させられるようになった。新しい問題は、まず第一に、経済学の面で生じた。すぐれたソ連の経済学者ノボシロフ(В. В. Новожилов)とネムチノフ(В. С. Немчинов)との協力によって、カントロビッチは「最適計画法」の概念を創り出した。これは、社会主義国家の経済計画の原理を発展させる上に大きな役割を

果たした。この最適計画法の発展は、OR 理論のいっそうの発展に対する重要な刺激の一つとなった。ソ連の経済における、この役割等については、たとえば [IV-8] によって知ることができる。なお、ネムチーノフは後に、最適計画法をも含むいわゆる、「経済-数学的方法」[IV-9] を体系づけ、現在、理論、応用面で大きな発展を続けている。

戦後、線形計画法はアメリカで再発見され、ただちに実際面での問題を解くために広く応用された。このことは、ソ連における線形計画法そのものの研究 ([IV-10], より新しくは [IV-11] ~ [IV-13]), さらに最適化の非古典的問題の研究に対する刺激をいっそう強いものにした。後者における研究は、今日でも盛んに進められており、この面で貢献したソ連の研究者はその名前をあげることができないほど多い。この分野における成果は、とくに、われわれにとっても関心の深いものであり、有益なものである。

まず最初にあげべきこの面での第一の成果は、ミリュチン (A. M. Милютин) とズボビツキー (A. Я. Дубовицкий) の、非常に一般的な空間での極値の必要条件を与える理論であろう [VI-14]。これは、古典の変分法における極値の必要条件、ポントリャーギン (Л. С. Понтрягин) の最大値原理をも導き出すことのできるきわめて一般的な理論である。ソ連では、この論文の発表後、この面の多くの研究がなされた。その発展、解説を行なった書物には [III-1], [IV-15] がある (いずれも、英語の翻訳が出版されている)。また、最大値原理の開発者の 1 人であるボルチャンスキー (B. Г. Болтянский) は、この理論の詳細な解説、発展、離散最適過程への応用に関して [IV-16] を出版している。

また、確率的計画法の統一的概念の創造、微分不可能関数の極値を求める方法、多次元問題の解析のための方法、解への収束を早める方法等の開発に関して多くの成果が得られた。これらのあるものはシリーズ [III] に 1 冊の単行本として出版されたものもあるが、そのうちの 1 冊 [III-5] に、これを含む非古典的な最適化法における成果の解説と、原論文の明示がなされている (個々についての紹介は略す)。

これらの業績は、一般理論としてのきわめて高い水準と、数理計画法をうまく使うことおよびオペレーションの理論の課題の意味を明瞭に理解するという実用主義とを結合させるものであって、ソ連に

おけるオペレーションナリスト (オペレーションズ・リサーチャー) のその後の運命に大きな影響を与えることとなった。

さらに、最適化問題に対する別のアプローチで、OR にとってとくに意義のあるものに、ミハレビッチ (B. С. Михалевич) による、ワルド (A. Wald) の逐次解析の考えに関連した成果がある [IV-17], [IV-18]。これは、「代替案の逐次解析」の詳細な手順を作るための一般的スキームを与えるものであって、そこから、ベルマン (R. Bellman) のダイナミック・プログラミング、さらに、ずっと後に発表された分岐限定法をも導き出すことのできるものである。

この方法は、複数個の目的 (効果基準) をもつ問題にも拡張できる点で、OR の発展にすでに大きな役割を演じてきている (しかし、目的関数に不確定要因のある場合には、この方法だけでは不十分であって、たとえば、ゲームの理論にゆずるなど、他の方法によらなければならない)。

種々の整数値問題も、OR との関係で特別な意義をもつ最適化の問題である。これらの問題には、ヒューリスチック・プログラミングの方法を用いざるをえないものが多い。このとき、どのようなアルゴリズムが最も効率が良いかが問題になる。これらに関する研究の成果が、数理論理学者ヤブロンスキー (С. В. Яблонский), リヤブノフ (O. B. Ляпнов), ジュラブレフ (Ю. И. Журавлев) たちによって得られている。とくに、ヤブロンスキーによって開発されたテストの理論は、技術診断、パターン認識、エキスパートの予想処理の組織化などにも応用されている (たとえば [IV-19])。

4. 制御理論

OR 理論の概念と方法が形成される上に役立った第二の分野である制御理論の研究を簡単に見ておこう。戦争前における、ソ連の制御理論の分野で、工学者および数学者が技術装置の安定性の理論に関してすばらしい成果をあげたことは、周知のとおりである。注意すべきことは、この古典的制御理論の奥に、50 年代に OR 理論の基本的道具が作り上げられる際に、決定的な影響を及ぼすことになる新しい考えが起こったことである。それは、'30 年代末から生じた制御の質の概念である。こうして、OR 理論に典型的な二つの問題、システムの多目的性 (多基準性) と制御の最適性の問題とが生じたわけである。

'40年代に多くの国でロケット工学が急速に発展しはじめたことは、最適化の考えと道具の発展を大いに推進した。

制御理論の現実の多くの問題は、古典的変分法では解けないことがわかった。1946年(戦争のため遅れて)に、オホツィムスキー(Д. Е. Охотимский)が、オペレーションの理論の最も重要な方向の一つである最適制御理論に属する独創的な論文をはじめて発表した(これは、たとえば[Ⅲ-5]に紹介されている)。その論文には、今日の制御理論の言葉で問題の定式化が行なわれ、独創的な解法が与えられている。これにつづいて、類似の研究が盛んに行なわれたが、統一的な定式化はなされず、解法も個々の問題ごとに、特殊なものであった。

この一般的な定式化と解法は、'50年代末に、ポントリャーギンを中心とするグループによってなされ、「最大値原理」と呼ぶ結果を発表し、世界中から注目されることとなった。(わが国でも関連書物の翻訳によって紹介されている)。

これに近い分野、微分ゲームの理論の発展には、クラソフスキー(Н. Н. Красовский)の貢献が大きい。(その1970年前までの成果は[Ⅲ-3]にある。今もなお盛んに発展させられている)。

こうして、最適化の問題は、経済学、工学における動的システム分野の多くの研究者によって研究されるようになった。このことは、OR理論の概念と方法の面での理論的な発展と、その成果の実際面への応用とにおいて重要な役割を果たした。

最大値原理は、理論的にはユニバーサルではあるが、数値解法としては必しもユニバーサルではない。そのため、ソ連ではこの原理に基づく方法と同時に、直接的な方法が普及した。この面では、先に述べた、非古典的な種々の最適化法が重要な役割を演じた。なお、今日では最大値原理は経済学で盛んに利用されている(このことは、西側でも同じであろう)。

5. 技術手段の効果の評価

ORの思想、概念の形成に最も大きな影響を与えたのは、技術手段の効果の評価についてなされた研究の成果である。

この分野での最初の仕事は、数学者コルモゴロフ(А. Н. Колмогоров)による空中射撃の効果の評価である。その成果と関連分野の成果は、たとえば[Ⅳ-4]に詳しく解説されている。この仕事の内容

は、今日では非常に簡単なものではあるが、確率の概念を用いて質的評価を行なった世界最初の仕事であること(何年も後に、アメリカで類似の研究がなされた)、オペレーションの理論に典型的な問題の解法を定めたこと、この面への数学的方法の適用が有効であることを示した点で重要なものである。

この分野での輝かしい成功のため、厳密な数学的方法に過大な期待がかけられることとなった。ところが、効果の評価にあたっては、多目的性、情報の役割、不確定要因が重要な役割を果たし、特殊な前提を設けるなどの、非形式的な数学的でない方法が必要とされるようになった。

'40年代後半におけるこのような状況は、OR理論にゲームの理論の考えを持ち込むようにしむけることとなった。

ソ連におけるゲームの理論の発展はめざましくボロビエフ(Н. Н. Воробьев)を中心とするグループの古典的方向での発展と、ゲルメイエルを中心とするグループの、ORの具体的問題から出発し、階層システムの研究へと進んだ非古典的方向での発展とがある。

〈前者の成果は、一連の論文集[Ⅳ-20]~[Ⅳ-24]に発表され、後者の成果は、主として雑誌[Ⅰ-1]、[Ⅰ-2]に発表されている。その一つの重要な論文の抄録は本誌前号で行なったが、最も最近のものに、「利害の階層ベクトルをもつゲーム」[Ⅳ-25]、「繰り返しゲームにおける協力解の弱安定性」[Ⅳ-26]がある〉。

6. 確率的方法

ORの発展を述べる際に、ソ連における確率的方法の発展を忘れることはできない。この分野でも、ロシアの確率論の伝統が生かされ、応用への関心と一般理論への関心が有機的に統合されて、純粋に数学的な立場から、多くの応用上の問題が解かれた。

コルモゴロフの公理的確率論の確立(最近、有名な著書『確率論の基礎』の第2版が出版された)はあまりにも有名なことである。

応用面では、コルモゴロフ、スミルノフ(Н. В. Смирнов)、グネヂェンコ(В. В. Гнеденко)によって、今日の統計的意思決定論と呼ばれる分野での基礎的な研究がなされた。

ヒンチン(А. Я. Хинчин)は、大衆サービス理論(待ち行列理論)の調和のとれた厳密な数学的道具を開発し、基本的な解析の結果をはじめて得た[Ⅳ-

27]. この理論は '30 年から '50 年の間に急速な発展をとげ [N-28], 最近では, [N-29] が出版された.

'50 年代中頃に, 効果の評価理論での最も重要な方向の一つである信頼性の理論が確率論を背景として生まれた. この分野の研究は OR では西側よりも遅れて始められたが, 確率論のすばらしい伝統と, 第一級の数学者達の努力によって, この分野でのソ連の研究は世界の最前端を進んでいるといえよう [N-30], [N-31].

複雑なシステムの研究に関して重要な方向の一つは, 電子計算機によるシミュレーションである. この面での研究はクリモフ (Г. П. Климов), プスレンコ (Н. П. Бусленко) らによってなされている [N-32].

7. 新しい問題

この 10 年間に (ソ連の) OR の発展の特徴に重要な変化が生じ, 重点がはっきりと移りはじめた. その一つは, 計算機がいかに発達したとしても, 厳密な数学的方法では比較的単純な問題しか解くことができず, オペレーションの理論が応用科学として発展できるか否かは, 数学的・形式的方法と人間の頭脳の大きな能力を利用した非形式的な思考とをいかにうまく結合されるかにかかっているという認識によるものである.

この面で重要なのは専門家の判断の理論 (Теория Экспертиза) である. 最近の 10 年間には, この面の研究が積極的に進められ, ソ連でもこの面の独自の成果があげられている.

バスペロフ (Г. С. Пospelov) は, 予算配分の問題を研究していて, いわゆる決定行列の方法を提案した. グルシコフ (В. М. Глушков) は技術予測とプロジェクトの評価のための専門家の判断を組織化するための興味ある方法を提案している. これについては, たとえば, [N-33] で知ることができる. さらに, ゲルメイエルは, OR の伝統的な考えに基づいた, 調整の可能性を条件とした, 専門家の判断を処理するための合理的な方法を提案している (これ, および, 最初のものの内容は筆者は知らないが, 科学アカデミー計算センター報告のどれかに発表されているであろう).

オペレーションの理論の発展とともに, 扱う問題が複雑になっただけでなく, 1 個の問題の分析から, システムおよび問題のシステムの分析へと質的

な変化が起こってきた. これに関係した業績としては, 大規模経済システムでの計画の問題に関するのアガンベルギャン (А. Г. Аганберган) の仕事 [N-34] と, バスペロフによって開発された, システム・プログラム計画法 [N-35] をあげなければならない.

こうして, オペレーションの理論は, 本質的には複雑なシステムの設計のための基本的な新しい技術となった. 現在は, ますます大規模なプロジェクトが作られるようになったが, OR 理論は, それに参加できるための方法論的基礎と道具を, 十分ではないにしても, すでに持っている. このような, 大規模なプロジェクトの例には, 日ソ協力が話題になっている, 西シベリアの開発, アゾフ海に流入する河川の水資源の利用プロジェクトがある. (論文は, それぞれについての問題点をあげているが, その推進状況について述べていない).

非形式的方法を必要とし, 大規模化したプロジェクトに対する OR 理論が提供できる十分一般的なアプローチには, 科学アカデミー計算センターで開発した“擬似システム” (Имитационные системы) がある.

これは, 最低つぎの四つの要素からなっていないなければならない.

- 1) モデルのシステム (大規模プロジェクトでは単一のモデルでは十分でない).
- 2) 専門家と手続 (代替案を少なくするためのもので, 擬似システムの生物的要素ともいう).
- 3) 言語保証 (専門家が計算機と対話するために必要である).
- 4) オペレーティング・システム (擬似システム全体の動作をコントロールするために必要である).

こうして, OR の発展の論理, 実際の活動の要求から, OR はますます複雑なシステムの設計の問題を扱うようになった. そのため, OR 理論に純粋な数学的問題が生じた. その一つは階層システムの問題であり, 多くの専門家が関心をもっている (たとえば, [N-36]). そのほかに, 最小 (適量) 情報の問題とそれに密接な関係をもつ統合の問題がある.

(本論文は, OR のソ連の研究の重要な貢献は, オペレーションズ・リサーチの理論の方法論と道具が, 複雑なシステムの解析に効果を発揮することを示したことであるとしている. (複雑なシステムの理論は, サイパネチックスの主要なテーマの一つとして, 盛んに研究されていて, たとえば [N-37] が

出版されている。

8. あとがき

文献の明示、解説も十分なものとはなりえなくなるにもかかわらず、全般的な内容で、しかもソ連の研究者自身の論文にそって述べたのは、ソ連のORについて紹介がほとんどなされていないわが国の状況を考えたからである。ここで見た、特定分野の潮流については別の機会にゆずることにする。

9. ソ連のORに関する文献

いままでは、関係ある論文は、それについて解説された、あるいはその出所の明示がなされている単行本がある場合には、それを明示するにとどめた。

ソ連のORに関する文献を、つぎのように分類して、まとめておこう。

- I OR関係の論文が多く発表される雑誌.
- II OR専門の論文集.
- III そう書.
- IV 本文中で引用した、単行本、論文.

I～IIIは、本文中で引用しないものも含む。各分類ごとに番号をつけ、論文が発表された雑誌がIにある場合にはそこでの番号を使う。

なお、世界中のORに関する書物、論文(本誌も含む)を対象とする、抄録誌も出版されている。

Реферативной Журнал (Кибернетика. Сводный том). Винити.

I. 雑誌

- [1] Известия Академии Наук СССР Техническая Кибернетика.
- [2] Журнал Вычислительной Математики и Математической Физики.
- [3] Кибернетика.
- [4] Автоматика и Телемеханика.
- [5] Теория Вероятностей и её Применение.
- [6] Экономика и Математические Методы.

II. 論文集

- [1] Исследование Операций (Модели, Системы, Решения), Академия Наук СССР. Вычислительный Центр. Выпуск 1, 1970. Выпуск 2, 1971. Выпуск 3, 1972.
- [2] Исследование Операций и Статистическое Моделирование, Издательство ленинградского Университета. Выпуск 1, 1972. Выпуск 2, 1974.
- [3] Исследование Операций и АСУ. Межведомственный, Научный Сборник. <Виша Школа.>

1. 1972, 2. 1973, 3. 1974.

III. そう書

- Н. Н. Моисеев. (Редактор), Оптимизация и Исследование Операций, Наука. 1969～.
- [1] Б. Н. Пшеничинный, Необходимые Условия Экстремума, 1969,
- [2] А. Н. Шляев, Статистические Поселовательный Анали з. Оптимальные Правира Остановки, 1969.
- [3] Н. Н. Красовский, Игровые Задачи о Встрече Движений, 1970.
- [4] Ю. Б. Гермейер, Введение в Теорию Исследования Операций, 1971.
- [5] Н. Н. Моисеев, Численные Методы в Теории Оптимальных Систем, 1971.
- [6] В. Ф. Демьянов, В. М. Малоземов. Введение в Минимакс, 1972.
- [7] А. И. Пропой, Элементы Теории Оптимальных Дискретных Процессов, 1973.
- [8] Н. Н. Моисеев, Элементы Теории Оптимальных Систем (予定).
- [9] Ю. М. Ермольев, Методы Стохастического Программирования (予定).

IV. 引用文献・論文

- [1] ソ連大使館広報課編訳, “ソ連共産党第24回大会報告, 決議, 指令”, p. 211, 大月書店, 1971.
- [2] Ю. М. Леторов, Экономико-Математические Модели и Методы, знание, 1973.
- [3] Н. Н. Моисеев, И. А. Ушаков, “Работы о Исследованию Операций В СССР” [I-1], No. 3. 1974.
- [4] Е. С. Вентцель, Введение в Исследование Операций, Советское Радио. 1964.
- [5] ———, Исследование Операций, Советское Радио, 1972.
- [6] Л. В. Канторовиц, Математические Методы в Организации и Планировании Производства, Изд-во, Лгу, 1939.
- [7] ———, А. Б. Горстко, Оптимальные Решения в Экономике, Наука, 1972.
- [8] М. Кейзер著, 岩田他訳, “現代ソビエト経済学”, 平凡社, 1973.
- [9] В. С. Немчинов, Экономико-Математические Методы и Модели. Избранные Произведения. т. з, Наука, 1967.
- [10] Д. В. Юдин, Е. Г. Голштейн, Линейное Программирование. Теория и Конечные Методы, Физматгиз, 1963.
- [11] ———, Новые Направления в Линейном Программировании, Советское радио, 1966.
- [12] ———, Задачи Линейного Программирования Транспортного Типа, Наука, 1969.
- [13] ———, Линейное Программирование. Теория, Методы и Приложения. Наука, 1969.

- [14] А. Я. Дубовицкий, А. А. Милютин, "Задачи на Экстремум при наличии Ограничений," [1-2], 5. No. 3. 1965.
- [15] И. В. Гирсанов, Лекции по Математической Теории Экстремальных Задач, Изд-во. МГУ, 1970.
- [16] В. Г. Волтянский, Оптимальное Управление Дискретными Системами, Наука, 1973.
- [17] В. С. Михалевич, "Последовательные Алгоритмы Оптимизации и их Применения. I. Об одной Общей Схеме Последовательного Поиска", [1-3], No. 1, 1965
- [18] —————, —————, II. Последовательные Правила для Опытов с Детерминированными, Исходами [1-3], No. 2, 1965.
- [19] Ю. И. Журавлев, П. Е. Туляганов, Меры Важности Объектов в Сложных Системах, [1-2], Т. 12. No. 1, 1972.
- [20] Н. Н. Воробьев. (редактор), Матричные Игры Физматгиз, 1961.
- [21] —————, Бесконечные Антагонистические Игры, Физматгиз, 1963.
- [22] —————, Позиционные Игры, Наука, 1967.
- [23] —————, Теория Игр, Изд-во Арм СССР, 1972.
- [24] —————, Успехи Теории Игр, Минтис, 1973.
- [25] Ю. Б. Гермейер, И. А. Ватель, Игры с Иерархическим Вектором Интересов [1-1], No. 3. 1974.
- [26] Ю. Б. Гермейер, "Слабостойчивые Совместные Решения в Повторяющихся Играх", Докл. Ан. СССР. 216. No. 3. 1974, 481-484.
- [27] А. Я. Хинчин, Работы по Математической Теории Массового Обслуживания, М. Физматгиз, 1963.
- [28] Б. В. Гнеденко. И. Н. Коваленко, Введение в Теорию Массового Обслуживания, Наука, 1966.
- [29] Б. В. Гнеденко и др., Приоритетные Системы Обслуживания, Изд. МГУ, 1973.
- [30] Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев, Математические Методы в Теории Надежности, Наука, 1965.
- [31] Б. В. Гнеденко (редактор), Теория Надежности и Массовое Обслуживание, Наука, 1969.
- [32] Н. П. Бусленко, Моделирование Сложных Систем, Наука, 1968.
- [33] В. М. Глушков, Введение в АСУ. Издание 2-е, Техника, 1974, 152-163.
- [34] А. Г. Аганбегян, К. А. Батриновский, А. Г. Гранберг, Система Моделей Народнохозяйственного Планирования, Мысль, 1972.
- [35] Г. С. Поспелов, "К вопросу о Программном Методе Управления Многоотраслевым Производством-" В. сб. Программный Методы. Управления, Идо. Вц, АН. СССР. 1971.
- [36] Н. Н. Моисеев, Иерархические Структуры и Теория. Игр [1-3], No. 6. 1973.
- [37] Н. П. Бусленко, В. В. Калашников, И. Н. Коваленко, Лекции по Теории Сложных Систем, Советское Радио, 1973.