

## Ⅱ 資材・機械補給計画化の最適化の諸問題

Е.А.フルツキー, Б.Л.ゲロニムス

ソ連邦共産党第24回党大会へのソ連邦共産党中央委員会活動報告の中で、Л.И.ブレジネフは、「経済発展の現段階において、生産過程に奉仕する国民経済部門——運輸、通信、資材・機械補給——の役割が高まっている。……この分野で大きな進歩が成し遂げられたとは言え、継続的に改善を加える必要がある。この分野の発展を、増大しつつある生産量と生産の複雑さに適合させなければならない」と述べた（文献〔1〕60～61頁）。これらの課題の遂行は、数理経済的手法と電子計算技術に基づいて、実際の資材・機械補給計画化に最適決定を広範に導入することと深く関連している。

資材・機械補給（МТС）計画化の最適化の基本問題は、経済結合（хозяйственная связь）を設定する次のような計画メカニズムの策定にある。すなわち、そこにおいては最小の国民経済的支出のもとで、生産財（продукция производственно-технического назначения）の生産量と消費量とを均衡させる諸指標が有機的に結合されているのである。この国民経済的支出には、流通費の他、流通分野における生産過程の継続（切断、包装、品分け、輸送、その他の作業）に関連する支出が含まれる（文献〔2〕）。

ЦЭМИ АН СССР [ソ連科学アカデミー中央数理経済研究所] ではその創設当初からこの方向の研究が行われてきた。特に、この研究所内に連邦 Gosstap 付属の国民経済資材・機械補給管理過程自動化部が設置されたことで、こうした研究が強化された。その第一歩は、単一生産物の生産企業（поставщик）への消費企業（потребитель）の配属（прикрепление）を計画化する際に、線形計画輸送問題の解法の利用に基づいて数理経済的計算を広範に導入することであった（文献〔3〕,〔4〕,〔5〕）。この作業は、まず初めに化学・ゴム製品について生産企業への消費企業の配属問題を解決する際に実施され、続いて建設資材などについて実施された。生産企業への消費企業の配属についての計画計算を現実化する過程において、種々の生産物の納入に関する現存の制約・条件や計画計算の実施期間を考慮に入れることに関連する広範囲の方法論および情報その他の問題が解決された。

ЦЭМИ の策定した「連邦 Gosstap 付属補給・販売総管理局における生産企業への消費企業の最適配属計画の暫定標準計算法」が 1967 年に連邦 Gosstap、連邦閣僚会議国家科学

技術委員会、ソ連科学アカデミー幹部会で承認され、補給・販売総管理局において広範に適用され始めた。すでに 1971 年には、最適配属計画が化学製品 154 品目、建設資材 50 品目、紙製品 30 品目、金属製品 13 品目、その他多くの生産物について作成された。これらの計画に従う総輸送量は年間 3,500 万 t に達した（文献 [6]）。しかし、これは決して限度ではない。と言うのは、連邦ゴスナブ機構内には 15 億 t 以上の貨物があり、これらすべての生産物についての生産企業への消費企業の最適配属計画は、輸送費を 9,000 万～1 億ルーブル削減し、数万両の車両を運行からはずすことを可能にするからである（文献 [6], [7]）。

資材・機械補給計画化の際に単一生産物の生産企業へ消費企業を配属する課題と並んで、複数生産物の生産企業に対して消費企業の注文（заказ）を配分（размещение）する課題も解決されている。これは、総輸送・生産費最小化のもとで生産・輸送問題を解かなければならないことに関連するものである。その際、資材・機械補給計画化の反復的性格やこの過程の各段階に存在する情報を考慮することが必要とされる。この種のモデルの例としては、ЦЭМИ の策定した生産物の生産・納入注文の配分に関する計画計算システムがあり、これは化学・ゴム製品補給・販売総管理局 [以下では、化学製品総管理局と略す] の塗料・顔料部における実際の計画化に導入されている（文献 [8]）。このシステムの大筋は以下の通りである。

最初の段階では、 $k$  種塗料・顔料に対する国民経済の予備的需要量  $\tilde{M}_k$  が予測により決定され、これらの生産に用いる  $s$  原料の必要量  $\hat{B}_s$  の直接的計算

$$\hat{B}_s = \sum_k \bar{a}_{sk} \tilde{M}_k$$

がなされる。ここに、 $\bar{a}_{sk}$  =  $k$  生産物 1 単位当たりの  $s$  原料の平均投入係数。得られた数値  $\hat{B}_s$  は当該計画機関に送られ、その機関との間で原料資源の割当量  $B_s$  が調整される。この時期にはまだ生産能力の制約に関するデータを欠いているため、原料の制約が決定的な制約となり、割当原料から最大限可能な塗料・顔料製品生産量  $x_k$  が計算される。すなわち、

$$\begin{aligned} \sum_k a_{sk} x_k &\leq B_s \\ \min M_k &\leq x_k \leq \max M_k \\ \sum_k x_k &\rightarrow \max \text{ または } \sum_k c_k x_k \rightarrow \max \end{aligned}$$

という問題が解かれる。ここに、 $c_k$  =  $k$  生産物 1 単位の効果係数（коэффициент эффективности）。数値  $x_k$  は塗料・顔料生産に対する予備的注文として省——生産者に割当てられる。

次の段階では、各  $i$  企業における生産能力  $T_i$  および  $k$  種生産物 1 単位の生産に対するその投入係数  $q_{ik}$  に関するデータ、並びに改訂された原料割当量  $B'_s$  が既知となる。国民経済の需要を最大限可能な限り充足することを考慮して塗料・顔料生産に対する工業部門の改

訂された注文量  $y_k$  を決定するために、これらのデータが利用される。そのために、

$$\begin{aligned} \sum_{ik} a_{ski} x_{ik} &\leq B_s' \\ \sum_k q_{ik} x_{ik} &\leq T_i \\ \sum_i x_{ik} &= y_k \\ \min M_k &\leq y_k \leq \max M_k \\ \sum_k y_k &\rightarrow \max \end{aligned}$$

という問題が解かれる。得られた数値  $y_k$  が省—生産者との間で調整され、最終的に採択された  $y_k$  は、塗料・顔料に対する各  $j$  地区資材・機械補給管理局 (YMTC) の需要の充足計画作成に際してその基礎となる。すなわち、各  $j$  YMTC に対して消費量  $M_{jk}$  が割当てられ、

$$\sum_j M_{jk} \leq y_k$$

となる。この段階で、塗料・顔料生産に用いる割当原料資源  $B_s''$  および能力  $T_i'$  が最終的に調整される。最後の段階では、各  $i$  生産企業から各  $j$  YMTC への  $k$  種生産物納入に対する注文量  $x_{ijk}$  を配分する問題

$$\begin{aligned} \sum_i x_{ijk} &= M_{jk} \\ \sum_{ijk} a_{ski} x_{ijk} &\leq B_s'' \\ \sum_{jk} q_{ik} x_{ijk} &\leq T_i' \\ \sum_{ijk} (c_{ijk} + s_{ik}) x_{ijk} &\rightarrow \min \end{aligned}$$

が解かれる。ここに、 $c_{ijk}$  = 輸送・調達費、 $s_{ik}$  = 生産費。

この種の実際の問題の規模が大きいことから、ゴススナブ中央計算センターでは計算が2段階で行われている。総費用に占める輸送費の比重が小さい(2~3%)こと、輸送費の変動係数が生産費の変動係数に比べて小さいことを考慮して、まず初めに生産問題

$$\begin{aligned} \sum_{ik} a_{ski} x'_{ik} &\leq B_s'' \\ \sum_k q_{ik} x'_{ik} &\leq T_i' \\ \sum_i x'_{ik} &= \sum_j M_{jk} \\ \sum_{ik} s_{ik} x'_{ik} &\rightarrow \min \end{aligned}$$

が解かれる。次に  $k$  個の輸送問題

$$\sum_i x_{ijk} = M_{jk}$$

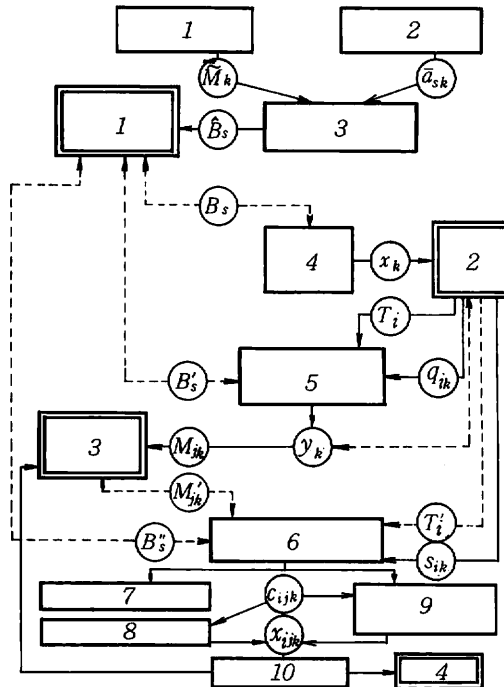
$$\sum_j x_{ijk} = x'_{ik}$$

$$\sum_{ij} c_{ij} x_{ijk} \rightarrow \min$$

が解かれる。

以上述べた図式（第1図）に従った計算が、化学製品総管理局の塗料・顔料部において

第1図 生産物の生産・納入注文を配分する計画計算システムの図式



課題（長方形）；1.生産物に対する予備的需要  $\tilde{M}_k$  の決定, 2.原料の部門平均投入係数  $\bar{a}_{sk}$  の決定, 3.原料需要  $\hat{B}_s$  の計算, 4.連邦 Gosstap その他の庁による割当原料  $B_s$  を考慮した生産物生産量  $x_k$  の最大化, 5.割当原料  $B'_s$  と省—生産者によって割当てられた能力  $T_i$  およびその投入係数  $q_{ik}$  を考慮した生産物生産量  $y_k$  の最大化, 並びに地域資材・機械補給管理局との間での消費量  $M_{jk}$  の調整, 6.改訂された原料割当量  $B''_s$ , 能力  $T'_i$ , 単位生産費  $s_{ik}$  を考慮した生産物の生産・納入注文の配分, 7.生産費最小化の生産問題, 8.単位輸送費を考慮した輸送費最小化の輸送問題, 9.生産・輸送費最小化の生産・輸送問題, 10.配属計画  $x_{ijk}$  の入手  
管理機関（二重長方形）；1.連邦 Gosstap その他の庁, 2.省—生産者, 3.資材・機械補給管理局, 4.生産企業

[訳注：原図では  $B'_s$  は  $B_s$  と同様に管理機関1と課題4との間に記され、それに応じた  $B_s, B'_s$  の

説明がなされているが、ここでは本文での  $B_s'$  の定義に合わせて図とその説明を改めた。また、図中の実線と点線の区別については説明がない]

1969年から実施されている。1971年に計算を実施した際、塗料・顔料の生産を5,200 t 増加し、生産・輸送費を2.6 %削減する可能性が明らかにされた。現在、化学製品総管理局および連邦化学工業省全連邦合同「ソユーズクラスカ」の活動に導入される適切な計算法が策定・承認されている。

このような図式に従った計算は、非常に広範囲の生産財について資材・機械補給計画化の際に適用可能である。そのために、連邦ゴスナブ中央計算センターでは必要なすべてのコンピューター計算プログラムが作成されており、これらは塗料・顔料の納入計画化の際に既に数年間利用されている。現在、ЦЭМИ は化学製品総管理局やタイヤ工業科学研究所と協力して計算システムの改善を続けている。その目的は、種々の生産物生産への生産企業の専門化に関する長期最適計画を、経常年度計画化の際に考慮に入れるようにすることにあるが、このようなことは、消費企業への生産物納入の注文を配分する年度計画化制度のなかに今までは反映されていなかったのである。これは、生産企業と消費企業との長期直接的結合 (прямая связь) の計画化とその維持のような複雑な問題に対しても、より合理的に解決する可能性を与えるものである。

資材・機械補給計画化の際、生産企業へ消費企業を配属する課題を解決する前に、国民経済の生産財需要が計算される。生産物に対する需要の決定は、МТС 機構のすべてのレベルで行われる。その際、直接的計算法や予測が利用されている。直接的計算法 (метод прямого счета) はすでに十分に研究されているが、資材需要の予測法 (метод прогнозирования) は近年ようやく利用され始めたものである。需要の予測についてはМТС の各々の環節で異った接近法が必要とされる。ЦЭМИ の行った研究では、化学・ゴム製品に対する国民経済の年間需要を予測する種々の数理統計学的モデルを利用して、補給・販売総管理局レベルで国民経済の生産物需要を予測することに主要な関心が払われた。その際得られた結果を分析したところ、このようなモデルは実地には導入しがたいことがわかった。そこで、ヒューリスティックな予測法 (эвристический метод прогноза) を策定する試みがなされたが、その基礎となっているのは次の諸命題である。

- 1) 過去における個々の生産物の消費動向は極めて多様であり、一定の傾向を示さないこともしばしばある。したがって、時系列をより長くしても、予測がより正確になるとはいえない。
- 2) 次年度の需要に最大の影響を及ぼすのは、その計画期間の直前の期間における需要量で

ある。

3) 時系列の最も可変的な要素は、需要の数値それ自体ではなく、需要の増分である。

先行6年間における実際の需要のデータをもとに、第7年について予測がなされる。各種生産物に対する需要の手持ちの時系列全体が、時系列の最初の5年間における増分の相互関係に応じて16グループに分類される。

$d_i^j$  =  $j$  種生産物に対する第  $i$  年の需要,  $i = 1, \dots, 6$ ,  $j = 1, \dots, N$ ,  $N =$  生産物の数とし、増分を  $w_i^j = d_i^j - d_{i-1}^j$ ,  $i = 2, 3, 4, 5$  とする。第1グループには  $w_2, w_3, w_4, w_5 \geq 0$  なる生産物が入れられ、第2グループには  $w_2, w_3, w_4 \geq 0$ ,  $w_5 < 0$  なる生産物が入れられ、以下同様とする。あらかじめ与えられていたすべての公式に従い、時系列をもとに、これらの各グループについて第6年の予測量が計算される(例えば、 $d_6 = d_5 + 0.06w_2 + 0.15w_3 + 0.27w_4 + 0.52w_5$ ,  $d_6 = d_5 + w_5$  など)。すべての公式による計算の結果、グループ内の生産物総数の65%以上の生産物について第6年の予測量と実際の量との誤差が10%以下であるような公式が、各グループごとに選択される。このような公式が存在しないならば、そのグループは予測できないものとされる。次に、最後の5年間のデータをもとに時系列が再度16グループに分類され、前の計算の段階で選択された公式に従って、次の計画年度について予測がなされる。

ベスム-3およびエーベーエム<システム4-50>用のプログラムが計算のために作成されている。試験的計算が化学・ゴム製品500~740品目について1970年、1971年、1972年に実施された。1972年の計算では、予測需要量の平均誤差は14.3%であり、製品の61%については誤差が10%以下であった。1973年には、ЦЭМИで策定され、化学製品総管理局で承認された方法に基づいて予測量が計算された。計算の結果は、計画に先立つ資料として利用された。国民経済計画で需要傾向の変化が予定される場合には、予測量がインフォーマルに修正される(文献[9])。

生産あるいは最終需要の充足に必要な資材需要の決定だけでは、補給・販売過程の進行に不可欠の信頼性を与えるには不十分である。そのためには一定の在庫が必要である。「種々のレベルにおける在庫の状態と配置に大きく依存しているのは生産の進み具合だけではなく、積極的な利用の分野から引き離される資材の量もそうであり、したがって、種々の生産物の生産に対する総需要量もまたそうである。それゆえに、在庫の最適管理が、最適経済機能システム全体のなかで資材・機械補給の主要な機能の1つとならなければならない」(文献[10]62頁)。まさにこの理由によって、在庫の最適計画化方法の研究が、資材・機械補給計画化の最適化の領域において主要な研究方向の1つとなっている。その際、事前に予見できない計画外需要の充足を主要な用途とする予備的在庫(резервные запасы)の計画化方

法の研究に、多大の関心が払われている。予備的在庫の役割は、科学技術進歩の進展に応じて年々高まっている。

予備の最適水準およびその計画量を決定するために、多くのモデルが作成されている。その最初のモデルは、需要が予備を上回る確率に等しい最適リスク係数  $p$  の計算をもとに保険的在庫（страховые запасы）を決定する周知の方法との類推により、予備の水準を決定できることに基づいている。ただし、

$$p(x > R) = \frac{c_1}{c_1 + c_2}$$

である。ここに、 $c_1$  = 予備の生産物 1 単位の保管費、 $c_2$  = 生産物 1 単位の不足による損失、 $R$  = 予備の大きさ、 $x$  = 需要の確率変数。この確率変数の分布は、分析の結果、対数正規分布に従うことがわかった。したがって、予備の最適水準の大きさは、

$$R = e^{u_p \sigma + m}$$

という式で決定することができる。

化学製品総管理局に入ってくる計画外需要充足請求の実際の記録をもとに、多くの塗料・顔料製品について適切な計算が実施された。計算の結果、これらの製品 5 品目について最適水準の予備を形成するだけで、年間 42 万 2,800 ルーブルもの経済効果が得られることが判明した（文献 [11]）。

しかし、この分析で示されたように、このモデルを適用するには、当面の請求を充足した後すぐにその補填を行い、計画期間全体にわたって一定水準の資材予備を維持することが必要であるが、これは実際の MTC においては極めて困難である。

予備を追加的納入によって補填しなければならないことから、次の段階では、必要な予備の水準ではなくその量を決定することに研究が向けられた。予備は、その資材の生産に用いる生産能力という形で存在することもあれば（補給・販売総管理局レベル）、資材の形で存在することもある（YMTC レベル）点が考慮された。

予備能力による生産物の生産を計画化する際には、予備能力の操業休止と、計画外需要充足に必要な生産物の不足とに関連する平均費用関数が最小化される。この関数は各四半期について、

$$A(R_i) = c_3 M(R_i - S_i(T_i))^+ + c_2 M(R_i - S_i(T_i))^-$$

と表わされる。ここに、 $c_3$  = 産出量で測られた予備能力の操業休止による損失、 $R_i$  = 第  $i$  四半期における予備能力による生産物の計画生産量、 $S_i(T_i)$  = 期間  $T_i$  における計画外需要充足に対する総請求量の確率変数。

$A(R_i)$  が最小値に達する最適量  $R_i \geq 0$  を求めることは、方程式

$$p(S_i(T_i) \leq R_i) = \frac{c_2}{c_3 + c_2}$$

に帰着し、この式は、関数  $A(R_i)$  が厳密に凸である（すべての  $R_i$  について  $d^2A/dR_i^2 > 0$ ）ことから、ただ1つの解をもつ。方程式の解は、第  $i$  四半期についての最適値  $R_i^*$  を与える。すべての四半期についてのこれらの値の合計が最適量となるが、この量は、補給・販売総管理局所管の生産物に対する計画外需要を充足するために、年度計画で規定すべきものである。

$R_i^*$  の値を求めるために、ベスム-3用のプログラムが作成された。これに従って、1970年の実際の計画外需要のデータをもとに、不足が生じていない生産物10品目について試算が行われた。その結果、化学製品総管理局における年間予備量は、種々の資材に対してその年度生産計画の2.5%から20%まで大きく格差付けなければならないことがわかった。予備の四半期ごとの量についても、大きな格差が得られた。最適予備量が実在するときの効果の計算によれば、その際国民経済的支出は50%以上削減する。

YMTC レベルでの予備を決定する際には、予備を資材の形で保有しなければならないことが出発点となる。これは、予備的在庫量全体が計画期間期首に存在しなければならないという特殊性をこの課題に付与するものであるが、このことは保管費に反映されている。したがって、次の費用関数の数学的期待値

$$EA = c_1 \int_0^{T_i} E(R_i - S_i(t))^* dt + c_2 \int_0^{T_i} E(R_i - S_i(t))^- dt$$

が最小化される。この関数の最小化は、積分方程式

$$\frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} p(S_i(t) \leq R_i) dt = \frac{c_2}{c_2 + c_1}$$

を解くことに帰着する。

方程式の数値解を得るために、同じくベスム-3用のプログラムが作成されている。これに従って、地域MTC管理局における実際のデータをもとに計算を実施することが予定されている（文献[12]）。

MTC 地域機関の基地（база）や倉庫（склад）における経常的・保険的在庫の合理的な量を決定する問題は非常に困難である。現在、実際に行われている補給・販売は、在庫管理論に関する多くの研究で考察されている過程とは甚だ異なっている。そこで、ЦЭМИ とモスクワ大学の経済分析の数学的方法講座は、これらの在庫の必要量を決定するためにコンピューターでのシミュレーション方法を利用する試みに取り掛かった。そこでは、任意の時間  $t$  に消費企業から生産物の確率の大きさ  $Bt$  の請求を受ける倉庫が考察された。この時間



$t$ において倉庫の在庫  $x$  が十分であれば、請求は完全に充足され、不十分であれば、倉庫に存在する在庫量のみだけ充足される。後者の場合、倉庫は、供給できなかった生産物量に比例する罰金  $c_2$  を消費企業に支払う。倉庫への生産物の入荷も、確率時間  $\tau$  に確率的大きさ  $y_\tau$  として行われる。在庫生産物の保管に要する倉庫の支出  $c_1$  は、期間  $T$  全体の平均在庫  $\bar{x}$  に比例する。計画期間  $T$  全体における倉庫の平均総費用が最小化されるような期首在庫の計画水準を求めなければならない。

$$(c_2 + c_1) \rightarrow \min$$

問題を解くためにこの過程のモデルが構築されているが、これはシステムの要素のビヘイビアとその相互関係を記述したコンピューター用総合プログラムである。コンピューターでの計算により、種々の初期データを与えて、倉庫から消費企業に補給を行うときに生じる現実の過程をシミュレーションすることが可能となっている。初期データとして、期首在庫の計画水準の種々の値  $x_0$  が与えられている。その各々について、上述の確率変数  $t$ 、 $B_t$ 、 $\tau$ 、 $y_\tau$  の実際の分布を考慮して期間全体の計算が行われ、保管と罰金支払に要する支出合計が決定される。その結果、 $x_0$  に対する支出の依存関係が明らかにされる。最小の支出合計が最適値  $x_0$  を決定する。

エーベーエム M-220 用の適切なプログラムに従って、レウトフ化学製品基地が保管する多くの資材についての消費企業への補給のデータをもとに試算が行われている。そして、例えばタイヤ (220 mm × 508 mm) の在庫をほぼ 2 分の 1 に削減できることが明らかにされた。計算要綱がモスクワ地区化学製品補給・販売管理局で承認され、MTC 地域機関で АСУ 創設の際利用することが奨励されている (文献 [13])。

しかし、基地、倉庫および消費企業における総在庫水準は、とりわけ、消費企業への直送あるいは倉庫補給形態 (транзитная или складская форма снабжения) のいずれを選択するか大きく左右される。ЦЭМИでは適切な数理経済モデルが作成されている。そのモデルは、輸送・調達費と、倉庫の在庫生産物  $\beta_j$  および消費企業の在庫生産物  $\gamma_k$  の保管・凍結に要する支出との総費用  $C$ 、すなわち

$$C = \sum_{ij} c_{ij} w_{ij} + \sum_{jk} c'_{jk} u_{jk} + \sum_{ik} c''_{ik} v_{ik} + \sum_j c'_j \beta_j + \sum_k c''_k \gamma_k$$

を最小にするような  $i$  生産企業から  $j$  基地への納入量  $w_{ij}$ 、 $i$  生産企業から  $k$  消費企業への納入量  $v_{ik}$ 、 $j$  基地から  $k$  消費企業への納入量  $u_{jk}$  を決定するモデルである。

変数  $w_{ij}$ 、 $u_{jk}$ 、 $v_{ik}$  はバランス制約式

$$\sum_j w_{ij} + \sum_k v_{ik} \leq A_i$$

(ここに、 $A_i = i$  生産企業による当該 YMTC のための生産物生産量)

$$\sum_i v_{ik} + \sum_j u_{jk} = B_k$$

(ここに、 $B_k = k$  消費企業の需要)を満たし、また、基地への生産物入荷量は基地からの出荷量に等しい、すなわち

$$\sum_i w_{ij} = \sum_k u_{jk}$$

とならなければならない。

一般的に、在庫  $\beta_j$ 、 $\gamma_k$  は、 $w, u, v, A$  および生産企業からの標準直送納入量  $H$ 、基地からの標準納入量  $h$  などの関数である。ただし、 $H \gg h$ 。

これらの在庫を  $C$  の最小化の結果として  $w, v, u$  とともに求めるためには、これらの在庫について適当な制約条件式を書き示さなければならない。しかし、このような制約条件を伴う問題を立てたり、まして解いたりすることは今のところ極めて困難であることが研究でわかっている。そこで、近似解を求める以下の案が提案されている。初めに、

$$\beta_j = \begin{cases} \frac{H}{2} \cdots \cdots \sum_i w_{ij} \neq 0 \text{ のとき} \\ 0 \cdots \cdots \sum_i w_{ij} = 0 \text{ のとき (すなわち、} j \text{ 基地が利用されないとき)} \end{cases}$$

$$\gamma_k = \frac{\sum_i v_{ik} H}{2 B_k} + \frac{\sum_j u_{jk} h}{2 B_k}$$

を仮定して問題が解かれる。これらの式を汎関数  $C$  に代入すると、基地の利用の1つのヴァリエントから他のヴァリエントへの移行点で  $C$  がこれらの変数について不連続であることがわかる。このようなヴァリエントは  $2^N$  個ありうる。ここに、 $N =$  基地の数とする。そこで、 $2^N$  個の線形計画問題が解かれ、汎関数の値が決定される。

解法の第2段階では、納入予定表 ( график поставок ) になぞらえたシミュレーションにより、在庫量が精密化される。このためにヒューリスティックなアルゴリズムが策定されているが、その基礎となっているのは、経常的在庫の最小化は最初に生産企業、次に消費企業、最後に基地という順序で行わなければならないという考え方である。「仮想的」在庫  $\alpha_0$  のシミュレーションが行われるが、この値は初期の時点では0で、その後の時点では負の値を取りうる。 $\alpha_0 = \max(-\alpha(t))$  とし、シミュレーションのステップ幅は時間区間  $\Delta$  とする。消費量は既知である。シミュレーションでは、時間区間における生産と消費を考慮して、生産企業と消費企業における在庫が各  $t$  について継続的に計算される。次に、標準直送量  $H$  以上の在庫を有する各生産企業について順番に、初めに納入を行うべき消費企業が見つけれられる。これは、年間消費量と既に供給された量との差が0より大きく、在庫が最小であるような消費企業である。そこに  $H$  量の貨物が供給されるが、このことは生産企業および供給先の施設における在庫の計算、さらに、残る年度内になお供給しなければならない生産物量の計算に反映される。この後生産企業に  $H$  以上の在庫が残っているならば、在庫が  $H$  未満になるまで同様の計算が再度行われる。それから、次の生産企業に移り、以下

同じである。同様の計算が基地およびそこに配属された消費企業についても行われるが、今度は $h$ 量の貨物が考慮される。

同時に、システムの各施設における経常的在庫の平均が計算され、期首在庫計算量を考慮してこの平均に修正が加えられる。このようにして、補給形態選択の各ヴァリエントについて納入予定表と経常的在庫の精密化された平均とが求められる。これをもとに、各ヴァリエントの汎関数 $C$ に従う精密化された費用が最終的に決定され、その中から最小費用のヴァリエントが選択される。

ベスムー3用のプログラムが作成され、これに従って、モスクワ地区およびレニングラード地区 УМТС における実際のデータをもとに多くの計算がなされている。そして、現状と比べると、コンピューターでの計算により消費企業への一層効率的な補給形態を選択できることが明らかにされた。基地の在庫は若干増加するものの、地区の在庫は2分の1～3分の1に削減することが可能であり、総費用も8%から55%減少している。これらの結果は УМТС の従業員によって承認されている。補給形態と納入予定表の決定方法を АСУ МТС の枠内で実用化することが奨励されている（文献 [14]）。

このように、近年 ЦЭМИ では資材・機械補給計画の多くの課題に関する数理経済モデルと最適決定方法を策定するための一定の作業がなされている。その一部は既に実際の活動に導入され、著しい経済効果を上げている。しかし、部分的課題の最適決定だけでは、МТС 全体の最適計画化を保証するにはなお十分でない。それは、局所的数理経済モデルを一定のシステム、相互連関的コンプレクスに統合してはじめて可能となる。最近この策定作業が ЦЭМИ で行われた。

この研究において、国民経済の資材・機械補給計画化の基本目標は以下のものであることが示された；

- 1) 品目別の（ номенклатурная ）生産計画とアソートメント別の（ ассорти-ментная ）支払能力ある生産物需要とを計画的に斉合化する。これは、МТС 計画化のモデルズ・システム（ система моделей ）を策定する際、制約条件として採用しなければならない。
- 2) 国民経済的支出を最小にする。これには、流通費のほか、生産費の一部、資材の不足による消費企業の損失、予備としての生産能力の操業休止による生産企業の損失などが入る。これは МТС 計画の質の判定規準として採用しなければならない。

計画化の各部分的課題において個別的に支出の最小値に達しただけでは、МТС 計画の総支出の最小値を得たことにはならない。それは、МТС 管理のすべてのレベルに関して、また決定の時間に関して相互に関連するモデルズ・システムが、資材・機械補給の最適計画化

の基礎として存在するときにはじめて可能となる。

理論的には、「あらゆる関係において最適である」計画は、単一の数理経済モデルを構成することにより求めることができる。しかし、MTC計画のためのこのようなモデルを現実化することは今のところ不可能であるため、モデルズ・システムを策定し、全体的課題がこのシステムに属す多くの局所的課題に分かれるようにする、という問題が現在提起されている。その際、局所的課題は、その解の結果とMTC計画化の全体的・総合的課題の解との無矛盾性を保証する一定の要請に応えるものとならなければならない。

MTC計画作成の工程を分析することが、全体的システムから部分的課題を抽出する方法として利用され、この工程が情報流通・変換過程として考察される。計画化のレベル、連鎖関係および境界、諸課題のヒエラルヒーとその相互関係などが設定される。このような考察により、MTC計画化を次のように描写することができる。すなわち、それは相互連関的課題の多段階的コンプレックスの解を求める逐次的過程であり、その際、MTC管理ヒエラルヒーの以下の4つのレベルの各々で現物的・価値的指標の相異なる集計化が行われるのである；1) 連邦ゴススナブ、2) 補給・販売総管理局（CGCC）、3) 経済地区の（地域）MTC総管理局（YMTC）、4) 基地（倉庫）、小口卸売商店。各イタレーションにおいては、計画課題の最適決定がなされるだけでなく、そのとき得られた結果がMTCの相異なる管理レベルの間で、また、MTC機関とその外部の国民経済単位との間でインフォーマルに調整される。

MTC計画化の過程は、上からも（連邦ゴスプランから。連邦ゴスプランは、5カ年計画と具体化された年度計画に基づいて、最も集計化された形で最終生産物<sup>\*</sup>の計画量についての指令を連邦ゴススナブに出す）、下からも（企業から。企業は生産物アソートメントでの需要をYMTCに伝える）出発する過程として考察される。

\* 一般に理解されている概念とは異なり、ここで最終生産量とは、MTC機構のサービスを受ける諸部門の生産物生産量から、これらの諸部門全体の内部消費量を控除した量のことである。

MTC計画化の過程は仮設的に5段階に分けられる。

- I. ゴススナブは、ゴススナブ品目での生産物最終必要量を事前に予測し、2次計画問題を解くことにより、ゴスプランから得たデータをゴススナブ・バランス品目に分計する。
- II. CGCCは、最終生産物の生産課題をゴススナブから得ると、そのデータをCGCCバランス品目に分計する。相異なるCGCCの計画は相互間で調整されなければならないが、本来これは、CGCC品目での単一のゴススナブ生産物連関バランスを解かなければならないことを意味する。このような問題の規模が非常に大きいこと、また、多くの制約条件が省・庁との

間でインフォーマルに調整されなければならないことから、これは不可能である。そこで、これらの問題の逐次解法が提案されている。バランスの斉合性が得られた後、CGCC はバランス品目で割当てた生産物量を УМТС に伝え、省——生産者は生産物生産量の予備的計画を所管企業に伝える。企業はこれに基づいて生産物明細品目（специфицированная номенклатура）での需要を УМТС に伝える。

Ⅲ. CGCCとУМТС との間で、また УМТС と消費企業との間で資源割当量が調整される。УМТСは経常的・保険的・予備的在庫の増加(または削減)の問題を解く。CGCCとУМТСが計画を調整できない場合には、最終的に調整されるまで第Ⅱ段階、さらには第Ⅰ段階（連邦ゴスプランとの間で）のイタレーションを再度行うことができる。そして、生産物明細品目での均衡のとれたМТС計画とこの計画に対応する生産物経常価格が得られる。

Ⅳ. CGCCは、省——生産者と協力して、生産企業から消費企業への明細品目生産物の生産・納入に対する、УМТСごとに集計された注文を配分するという問題（生産・輸送問題）を解く。この生産物について、保証された直接的結合が設定されているならば、得られた解がこれらの結合に適合するかどうか確かめられる。これらが侵害される場合には生産・輸送問題が再度解かれるが、そのときこの問題に直接的結合と非直接的結合の各々についての変数が入られ、汎関数には侵害に対する支出〔罰金〕についての正の項と、直接的結合による生産物1単位の納入効率についての負の項が付け加えられる。

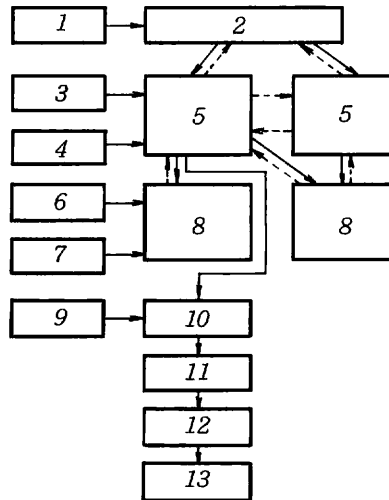
Ⅴ. УМТСは明細化された需要をアソートメント品目（ассортиментная номенклатура）に分計し、これが生産企業との間で明細品目量と調整される。取り除けない食い違いは、CGCCによって解決される。さらに、УМТСでは補給形態選択の課題が解決され、直送・倉庫納入量が決定される。この課題を解決した結果が納入予定表の作成に利用される。この納入予定表は、消費企業への生産物の集中送達経路を計画化する課題に解決の可能性を与えるものである。

以上でМТС計画化の基本的課題を解決する過程が終了する。このモデルズ・コンプレクス（комплекс моделей）の概略図は第2図に示されている。

提起されたモデルズ・コンプレクスはМТСのすべての基本的側面を包摂し、定式化された局所的課題の中にこの過程のすべての主要な条件・要素が反映され、局所的課題の制約条件はМТС計画化の全体的課題の制約条件に照応している。局所的課題を解くために採用された最適性規準はМТС計画化の全体的規準に矛盾していない。これらの結論により、策定されたモデルズ・システムの現実化は、国民経済のМТС計画として最適に近い計画が得られることを保証するものである、と主張することができる。

最近、資材・機械補給・販売の過程をより完全に反映する、複雑化されたモデルが作成さ

第2図 資材・機械補給計画化の数理・経済モデルズ・コンプレックスの概略図



1. 連邦ゴススナブ品目での最終消費の予測モデル, 2.連邦ゴススナブの部門関連物財バランス・モデル
- 3.補給・販売総管理局品目での最終消費の予測モデル, 4.生産企業の能力予備の決定モデル, 5.補給・販売総管理局の生産物連関バランス・モデル, 6.基地における在庫の決定モデル, 7.商品在庫予備の決定モデル, 8.地域資材・機械補給管理局 ( Y M T C ) の生産物バランス・モデル, 9.長期直接的経済結合の決定モデル, 10.生産企業に対する注文の配分および生産企業への Y M T C の配属のモデル,
- 11.消費企業への補給形態の決定モデル, 12.納入予定表の決定モデル, 13.消費企業への生産物の集中送達経路の決定モデル

れている。特に、直送・倉庫補給形態とMTC機構のすべての環節における資材在庫の状態とを考慮して経済結合の最適化を図るモデルが注目している（文献 [15] 59～61頁）。

I 個の生産企業 ( $i = 1, \dots, I$ ), I 個の消費企業 ( $j = 1, \dots, I$ ), P 個のMTC 機構の中継倉庫 ( $p = 1, \dots, P$ ) から成る単一生産物のシステムが, ある計画化期間T ( $t = 1, \dots, T$ ) において考察される。計画期間Tにおいてj 消費企業で必要な生産物  $b_j$  が  $v_j^t$  の水準で使用されるとする。ただし

$$\sum_{t=1}^T v_j^t = b_j$$

である。i 生産企業の総納入量は  $a_i$  である。ただし、 $\rho_i^t = t$  期におけるi 生産企業の生産物生産量, とすると,

$$\sum_{t=1}^T \rho_i^t = a_i$$

となる。

システムの状態はベクトル  $Z^t = (X^t, Y^t)$  によって記述される。ここに,

$$X^t = (X_1^t, X_2^t, \dots, X_I^t), Y^t = (Y_1^t, Y_2^t, \dots, Y_P^t)$$

であり、それぞれ消費企業〔原文では поставщик であるが потребитель の誤植である〕と中継倉庫における  $t$  期末の生産物未販売残高である。納入予定表—経路  $ij$  について  $U_{ij}^t$ 、経路  $ip$  について  $V_{ip}^t$ 、経路  $pj$  について  $W_{pj}^t$  — を制御ベクトル  $u = (u^1, u^2, \dots, u^T)$  で記述する。ここに  $u^t = (U_{ij}^t, V_{ip}^t, W_{pj}^t)$ 。注文実現費用は、例えば経路  $ij$  について、

$$k_{ij} \delta_{ij}^t + c_{ij} U_{ij}^t \quad (1)$$

ただし、

$$\delta_{ij}^t = \begin{cases} 1 \cdots \cdots U_{ij}^t > 0 & \text{のとき} \\ 0 \cdots \cdots U_{ij}^t = 0 & \text{のとき} \end{cases}$$

とする。経路  $ip$  および  $pj$  についても注文実現費用を同様に定める。

保管費は、考察されている期末の生産物未販売残高に正比例するものとする。すなわち、それは消費企業と中継倉庫のそれぞれについて、

$$S_j X_j^t = S_j (X_j^{t-1} + \sum_{i=1}^I U_{ij}^t + \sum_{p=1}^P W_{pj}^t - v_j^t) \quad (2)$$

$$\sigma_p Y_p^t = \sigma_p (Y_p^{t-1} + \sum_{i=1}^I V_{ip}^t - \sum_{j=1}^I W_{pj}^t)$$

という式で表わされる。

システムの初期状態と終期状態は既知である ( $Z^0 = 0, Z^T = 0$ ) とする。変形した後、 $U_{ij}^t, V_{ip}^t, W_{pj}^t$  の係数をそれぞれ

$$c_{ij}^t = S_j (T+1-t), c_{ip}^t = \sigma_p (T+1-t), c_{pj}^t = (S_j - \sigma_p) (T+1-t)$$

で示し、(1), (2)から制御  $u^t$  に依存しない項を除くと、次の目的汎関数を得る〔訳注：正確には、 $c_{ij}^t, c_{ip}^t, c_{pj}^t$  の定義式にそれぞれ  $c_{ij}, c_{ip}, c_{pj}$  が加えられる〕。

$$L(u) = \sum_i \sum_j \sum_t (k_{ij} \delta_{ij}^t + c_{ij}^t U_{ij}^t) + \sum_i \sum_p \sum_t (k_{ip} \delta_{ip}^t + c_{ip}^t V_{ip}^t) + \sum_p \sum_j \sum_t (k_{pj} \delta_{pj}^t + c_{pj}^t W_{pj}^t) \rightarrow \min \quad (3)$$

制約条件は、

$$\sum_{j=1}^I \sum_{\tau=1}^t U_{ij}^{\tau} + \sum_{p=1}^P \sum_{\tau=1}^t V_{ip}^{\tau} \leq \sum_{\tau=1}^t \rho_i^{\tau} \quad (4)$$

( $i = 1, \dots, I, t = 1, \dots, T$ )

$$\sum_{i=1}^I \sum_{\tau=1}^t U_{ij}^{\tau} + \sum_{p=1}^P \sum_{\tau=1}^t W_{pj}^{\tau} \geq \sum_{\tau=1}^t \nu_j^{\tau} \quad (5)$$

( $j = 1, \dots, I, t = 1, \dots, T$ )

$$\sum_{i=1}^I \sum_{\tau=1}^t V_{ip}^{\tau} \geq \sum_{j=1}^I \sum_{\tau=1}^t W_{pj}^{\tau} \quad (6)$$

( $p = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T$ )

となる。

さらに、任意の時点における制御ベクトルに、

$$u^t \geq u^0 \quad (7)$$

という制約条件を課することができる。ここに、 $u^0$  = 標準直送納入量ベクトル。

こうして、数学的プログラミングの動学的部分整数問題が得られた。(3)~(7)のタイプのモデルを最適化する多くの近似解法が知られている。これらの解法の種々の数学的修正には立ち入らないが、(3)~(7)のモデルが生産と消費の動態および納入の動態を反映していることを指摘しておく。ところで、生産と消費の水準を一定としてこのモデルを構成することも適切である。というのは、その条件下では計画化期間全体にわたる生産企業への消費企業の最適配属が可能となるからである。ただし、種々の供給源からの納入の重複を排除する制約条件

$$\sum_{i=1}^I \delta_{ij} + \sum_{p=1}^P \delta_{pj} = 1 \quad (j = 1, \dots, I)$$

を導入することが適当である。

(3)~(7)のモデルを最適化するとき、MTCの多くの問題、とりわけ経済結合の合理化の問題が解決される。最適制御  $u = (u^1, u^2, \dots, u^T)$  が得られると、システムの倉庫補給率

$$\lambda = \frac{\sum_p \sum_j \sum_t W_{pj}^t}{\sum_{j=1}^I b_j} \quad (8)$$

を容易に決定できる。倉庫補給率(8)が与えられるならば、モデルの一層の単純化が可能となる。

MTC年度計画化のモデルズ・コンプレクスは、連邦 Gosstap 科学・経済会議の一部局で検討・承認されており、また、開発されている連邦 Gosstap 自動管理システムのソフトウェアを策定するうえでの基礎として採用された。国民経済の ACY MTC についての作業には 60 以上の科学研究、企画その他の機関が参加している（文献 [5] 35 頁）。ЦЭМИ もこれに積極的に参加しており、国民経済の ACY MTC 創設に関する基本規定を策定した。ACY の企画・導入に利用するために連邦 Gosstap に引き渡されたこの文書には、連邦 Gosstap の ACY の方法論的基礎を成す原則的規定が含まれている。その中で、ソ連国民経済の資材・機械補給自動管理システム (ACY MTC CCCP) の機能に関する理論的基礎が述べられ、社会主義の条件下において MTC は経済結合を設定するシステムであることが根拠付けられ、経済結合の合理化は社会主義経済の最適機能理論を基礎としてのみ可能であることが強調され、生産財卸売商業の問題の本質が解明され、ACY MTC CCCP の位置と役割が決定されている。



続いて、長期・経常計画化、業務管理、記録、報告、分析の各々について基本的課題の分類・一覧が与えられ、АСУ МТС СССРの機能の規準が根拠付けられ、АСУ МТС СССРの数理経済モデルズ・コンプレクスの策定原則が述べられ、このシステムの機能の指標体系が挙げられている。

次に、АСУ МТС СССР とその環節の機能に関する経済的・法的保証の原則および組織上の基礎が根拠付けられ、このシステムの全国的意義が示され、ОГАС との関係が特徴付けられ、資材・機械補給の管理における集権化と個々の施設の経済的自主性との結合および行政的方法と経済的方法との結合の問題が考察されている。

そして最後に、АСУ МТС СССР の情報管理、アルゴリズム作成、ソフトウェア、ハードウェアに関する原則と問題が述べられ、АСУ МТС СССР 企画化の基礎となる、これらの問題についての原則的基本規定が挙げられている。

ЦЭМИ が軸受を例に取って作成した、資材の日常業務的運用の企画案は、資材・機械補給過程の業務管理の領域において、地域МТС 管理局の現場従業員の大きな関心を引き起こした。この企画案は他の生産財に対しても有用である。

1972 年に ЦЭМИ の資材・機械補給管理過程自動化部で準備され、連邦 Gosstap で採択された АСУ МТС СССР の概要企画書もまた、このシステムの企画立案者を大いに助けている。

この概要企画書には 4 つの編が収められている。

第 1 編（「経済結合を設定するシステムとしての資材・機械補給」）では、経済結合の本質について掘り下げられた説明がなされ、COMECON 加盟諸国におけるその組織化の若干の特徴が述べられている。

第 2 編（「資材・機械補給計画化のモデルズ・コンプレクスの図式」）では、一般的な方法論的規定の他、МТС 最適化の諸課題についての基本的な数理経済モデルが挙げられている [原文では проводятся であるが, приводятся の誤植である]。このうちの多くは既に補給・販売機関の実際の活動に導入されているものである。

第 3 編（「АСУ МТС СССР の情報管理・ハードウェアの諸問題」）では、情報管理の意義と目的内容が解明され、連邦 Gosstap 計算センター統合網の創設に関する基本規定、連邦 Gosstap АСУ の技術的複合体の構造と相互作用に関する基本規定が収められている。

第 4 編（「国民経済の資材・機械補給の全国的 АСУ 企画化に関する一般的原則と手順」）では、現行 МТС 制度の調査研究の方法論、АСУ МТС СССР の技術課題、明細企画書および契約企画書の策定・調整・承認の手順、このシステム導入の組織などが述べられている。

1973年に資材・機械補給管理過程自動化部は、経済結合を最適化する数理経済モデルズ・コンプレクス策定の方法論的原理（個々のモデルの作成を含む）を連邦 Gosstap のために作成した。基礎的業績であるこの文書は3章編成である。

そこでは、補給・販売管理における組織・情報構造決定の問題、経済結合を最適化する課題のモデルの問題、この最適化を実現するための経済的この利用の問題などが述べられている。

資材・機械補給管理過程自動化部の1974年以降の計画では、経済結合を最適化するための科学的方法論の策定を目差した、さらに複雑な研究が予定されている。これには、補給・販売基地・倉庫の配置予測法の策定、生産財の品質に対する MTC 制度の効果的な影響を保証する措置の策定、進歩的補給形態のモデル分析などが含まれている。

## 文 献

1. Материалы XXIV съезда КПСС. М., Политиздат, 1971.
2. Проблемы оптимального функционирования социалистической экономики. М., «Наука», 1972.
3. Н. Федоренко, Е. Нестеров, Е. Хруцкий, Вопросы оптимального прикрепления потребителей к поставщикам. Мат.-техн. снабжение, 1968, № 4.
4. Е. П. Нестеров. Транспортные задачи линейного программирования. М., «Транспорт», 1971.
5. Экономико-математические методы в снабжении. М., «Экономика», 1971.
6. Комплексы задач, решаемых в ВЦ и МСС системы Госснаба СССР в 1971 г. М., 1971 (Центр. н.-и. ин-т информации и техн.-экон. исследований по мат.-техн. снабжению).
7. В. Лагуткин. На главном направлении. Мат.-техн. снабжение, 1973, № 11.
8. А. Селиванов, Н. Беспалов, Б. Геронимус, А. Хмельницкий. От эксперимента к внедрению. Мат.-техн. снабжение, 1971, № 6.
9. Б. Геронимус, А. Селиванов. Прогнозирование потребности в Союзглавхиме, Мат.-техн. снабжение, 1973, № 2.
10. Н. П. Федоренко. Экономика и математика, М., «Знание», 1967.
11. Б. Л. Геронимус, Л. М. Желтова. Расчет оптимального уровня централизованных резервов материальных ресурсов. Экономика и матем. методы, 1972, т. VIII, вып. 2.
12. Г. В. Ротарь. Задача планирования и управления резервами. В сб. Совершенствование систем оперативного управления ресурсами. М., 1972 (Моск. Дом научн.-техн. пропаганды).
13. Б. Слепак, Б. Геронимус. Имитационные модели управления запасами. В сб. Применение математических методов, вычислительной техники и оргтехники в материально-техническом снабжении. Вып. 4. М., 1972 (Центр. н.-и. ин-т информации и техн.-экон.

исследований по мат.-техн. снабжению).

14. Б. А. Бачелис, Б. Л. Геронимус, Г. Н. Чеботарева. Задача о выборе формы снабжения. Автоматика и телемеханика, 1972, № 5.
15. Е. А. Хруцкий. Оптимизация хозяйственных связей. М., «Экономика», 1973.
16. Е. А. Хруцкий, Э. И. Воробейчук. Совершенствование организационных структур управления материально-техническим снабжением. Мат.-техн. снабжение, 1974, № 1.