〈ＯＲの潮流〉

在庫管理編

反町迪子*

在庫理論の最近の結果——1972年以降について概略する．

1. 単一 location

単一品目，単一 location のモデルについては，1963年頃までにその主要な部分の理論は完成したように思われる．したがって，残された問題および方向としては，

(1) これまでの理論の精密化，拡張

(2) 実用的なポリシー，near optimal ポリシーの求め方，アルゴリズムの開発

(3) モデルの感度分析 (sensitivity analysis)，すなわち最適ポリシーとシステムパラメタ（費用，需要等）の関係づけ

(4) 実際の応用と関連して，特殊な販売の仕方とか特殊な商品，特別な発注の仕方をした場合のモデルの解析

(5) 需要の確率分布が未知の場合の解析

である．

1・1 需要が確定的の場合について

定期発注で，有限な計画期間で t 期の発注固定費が A_t，保管単価が h_t，購入単価が C で，no backlogging で，発注量に制限のない場合には，DP モデル化がなされているし，発注量がある batch size の整数倍の値しかとれない場合には，planning horizon theorem の拡張がある．Elmaghraby [6] は，この後者の場合で，no backlogging の仮定をおとし，backlogging の費用（固定費なしの線型）を導入し，$A_t \equiv A$ の場合に，DP 定式化をおこない，その状態空間と決定空間を特性づけ，効果的な計算のアルゴリズムを導いている．

また，発注量の制限，backlogging の制限（ある期間しか backlog が許されない），在庫量の制限を考えた場合には，費用関数が凹のときの議論はあるが，それを拡張して Jagannathan [15] は，凸でも凹でもないもっと一般のある型の購入費用を持つ場合に，Zangwill が前におこなったネットワークの方法を使って解の集合の端点の特性づけをおこない，製造能力が毎期等しい特別の場合にアルゴリズムを概略している．

1・2 需要が確率的変動をし，その確率分布が既知の場合について

Yaspan [34] は，定期発注で，需要が各期独立で正規分布に従い，調達期間が n 期で，lost sales の場合に，品切れ確率は標準 $n+1$ 次元正規分布のある累積確率で与えられることを示しているが，$n \geqq 2$ に対しては正規分布表がないから計算の可能性はうすい．

Porteus [26] は，購入費用が $K \cdot \delta(z)$ 1) $+c \cdot z$ の型ではなく，一般の凹増加関数の場合に generalized (s, S) 型ポリシーが最適であるための十分条件として，これまでのは各期の需要の確率分布が one-sided Polya 分布でなければならないような条件を含んでいたが，その条件をゆるめて需要分布が一様かまたはそれ自身のたたみこみまたは一様と one-sided Polya との有限個のたたみこみ（これは必ずしも one-sided Polya にはならない）であればよいことを示した．そしてそれより，購入費用が $K \cdot \delta(z)+c \cdot z$ の特別の場合に対する (s, S) 型ポリシーが最適となるための新しい条件を求めている．

定期発注で，購入費用が $K \cdot \delta(z)+c \cdot z$ で，(s, S) 型ポリシーが最適である場合でも，定常なパラメタを持つ無限期間を考えれば定常な最適ポリシーの存在はいえるが，有限期間（N 期）に対しては一般にパラメタ系列 $\{s_t, S_t\}^N_{t=1}$ を持ち，その s_t, S_t は myopic policy が一般に最適でないことより，DP による計算を行なわねばならないため求めるのが面倒

1) $\delta(z) = \begin{cases} 1 & z>0 \\ 0 & z=0 \end{cases}$

* 東京工業大学．

である上，またポリシーの実行の際にも，毎期ポリシーが変わるとやりにくいということもあって，そのような場合には，定常な (s,S) 型ポリシーにのみ注目し，それはすべてのポリシーのクラスの中では最適ではないことを無視するのも一つのやり方である．Wheeler[33] は，一期間の在庫および品切れ費用の期待値 $G(y)$ に対して凸性を仮定せず，購入費用は $K\cdot\delta(z)$ の型をとるとしたとき，まず定常な s,S ポリシーをとったとして，$x_1=S$ のとき，x_t [2] の分布関数 $F_t(x|s,S)$ を用いて n 期間の総期待費用 $f_n(s,S)$ を表現し，$f_n(s,S)$ の極限 $f(s,S), \alpha=1$ [3] のときの $k_n(x,S)=\frac{1}{n}f_n(s,S)$ の極限 $k(s,S)$ を求め，そして $f_n(s,S)$，$f(s,S)$，$k(s,S)$ の (s,S) に関する連続性を求めた．

さらに，(s_n,S_n) を n 期に対する最適な s,S とし，$f_n\equiv f_n(s_n,S_n)$，$k_n=f_n/n$ とおき，s^*,S^* を無限期に対する最適 s,S とし，$f=f(s^*,S^*)$，$k=k(s^*,S^*)$ とおいて，$G(y)$ が quasi-convex ではないので Veinott-Wagner の policy bounds は成り立たないので，s_n，S_n, s^*, S^* に対する上界，下界を求め，また $k_n(s,S)$ の (s,S) に関する一様収束性を求めておいて，そして $\{s_n\}$ が下から有界ならば $f_n\to f$，$k_n(s,S)\to k(s,S)$（一様に）ならば $k_n\to k$ を結論している．

需要が発生するたびに発注する特別な $(S-1,S)$ 型ポリシーに対しては，需要分布が任意で調達期間が一定か，需要分布がポワソンで調達期間分布が指数分布で，backorder の場合と，需要分布がポワソンで調達期間分布が任意で backorder と noncaptive の両方の場合について研究されているが，Rose [30] は，需要が独立，同一の任意の分布，調達期間が一定で captive の場合に，performance measure としてこれまで求められていない backorder の期待数，resupply と品切れ時間の期待値，resupply 時間に対する確率分布を導いている．そして最小費用で，供給のある水準を保つために予備品と調達期間の間の trade off の問題を考えている．

Gross[9] は，調達期間分布がシステムの状態に依存する，すなわち未到着の発注量に依存する場合を考え，需要はポワソン過程で backlogging するとし，前に continuous review で特殊な $(S-1,S)$ 型ポリシーを仮定していたのを一般の (s,S) 型の場合に拡張して，待ち行列の解析 (Chapman-Kolmogorov approach と陰ぺいマルコフ連鎖の方法) を使って各時点の在庫量の極限分布を求め，それを使って費用関数を s,S に関して最適化している．

Hausman [11] は，予備部品としての確率的需要と組立て製品の部品としての確定的需要の二つの型を含む需要に対して，これまでは段取(固定)費がかからない場合の議論しかなかったので，段取(固定)費がかかる場合に定期発注方式での最適な dynamic program を大ざっぱに議論し，しかしそのポリシーは，実行するには非常に費用が高くつくので，実行可能な二つのポリシー，一つは continuous review (Q,r) 型，もう一つは簡単な heuristic な定期発注ポリシーを考え，数値例で比較している．

つぎに，これまでの議論は，completely backorder または lost sales が仮定されていたが，backorder と lost sales の混合について，Bazaraa[2] は，品切れ期間の間，需要のある割合は backorder され残りの部分は永久に失われて (lost) しまうとし，費用として段取費用と品切れ費用は固定費と線型部分，在庫費用と利益は線型を仮定して，まず需要が定常確定的の場合 s,Q ポリシーに対して平均年間費用を求め，それを最小にする安全在庫および発注量を求めた．これは費用が凸でないので，正則な変換についての結果を使って費用関数の最小値を求める方法を得た．そしてこの品切れ期間における需要の仮定（実際には completely backlog ではないのに，そのように仮定することによる差）に対して，システムが sensitive であることを例で示した．需要が確率的である場合には，continuous review に対しては発注点法または (Q,r) モデルに対して1個以上の未到着発注は生じない等の仮定の下で，heuristic で近似的扱いを示し，定期発注に対しては (R,T) モデルを仮定して，しかもランダムな調達期間に対しては発注順に納入され，しかも各発注の独立性を仮定して同様に平均年間費用を最小にする T,R を求めている．Posner[27] は，backlog と lost sales の混合の仕方として，backlogged の客はがまんの限度があって，あるランダムな時間は無条件に待ってくれ，その間は品切れ費用もかからないが，その時間がたってしまうとよそへいってしまい，費用としては客を失った損失と不快さの損失の両方かかるという場合を考えている．客の到着間隔，調達期間，客のがまんする時間をすべて指数分布に従うと仮定して，各時刻における在庫量の極限分布を求める方程式を導き，線型費用を持つ場合に定常期待利益を求

2) x_t:t 期の初期在庫量．
3) α:割引率．

め，最適発注点，発注量を数値例で示してある．

Burgin [1] は，発注点法を用いたときで，需要が正規分布，調達期間がΓ分布に従うときの調達期間中の需要の正確な分布を求め，調達期間中の需要がR（安全在庫）以下となる確率P_Rを求め，前にBurginとWildの与えたP_Rの近似値の精度をこの場合について検討し，十分であるとしている．

パラメトリックな研究，すなわちモデルのパラメタの値は通常めったに正確に決められなく，したがってそのパラメタの誤差にinsensitiveなモデルをさがすとか，sensitiveモデルは最適ポリシーにどのパラメタが最も影響を及ぼすか，その程度はどうか，ということはモデルの応用上重要な問題であるが，一般的モデルに対しては解析はなかなか困難である．簡単なモデルに対して，また計算例等で検討されている．たとえば，保管費用単価(C_2)，品切れ費用の単価(C_1)に対してC_2/C_1と最適ポリシーとの関係とか，保管費用の推定誤差の影響，リニヤ決定法則の解析を使ったパラメトリックの研究，EOQモデルに対する多変量感度分析問題の解析的方法，季節変動とか需要傾向等の需要のパラメタの感度分析も行なわれている．Foote [8] は，定期発注で，保管費用，品切れ費用はすべて線型で，発注固定費がかからない場合に，n期の最適解は単一の特性値$y_n{}^0$をもち，$y_1{}^0 \leqq y_2{}^0 \leqq \cdots \leqq y_n{}^0 \leqq y^0$（$y^0$は無限期に対する最適ポリシーの特性値）であることはわかっているが，$y_n{}^0$は一般に例の再帰方程式から得られるが計算は面倒であるので，$y_n{}^0$とy^0の違いを評価した．まず需要分布を各期同一の一様分布を仮定し，再帰方程式を用いて$y_1{}^0, y_2{}^0, y_3{}^0$を計算し，その費用と$y^0$を用いた費用の差をいろいろの費用パラメタに対して計算し，品切れ費用または保管費用の単価が増加するにつれて誤差は減少するが，購入費用単価の変化は誤差に影響を与えないことを予想した．そして一般に$\lim\left|\dfrac{y^0-y_n{}^0}{\alpha^n}\right| \leqq \dfrac{2c}{L''(y^0)}$なる関係があるので，需要分布が上の一様分布のとき，正規分布のとき，指数分布のときに対して$2c/L''(y^0)$を計算すると，この三つの場合で大ざっぱに一致することより，一様分布に対する結果は正規分布，ポワソン分布にも適用され，結局期数が3期以上のポリシーを近似するために，無限期のポリシーを使うことは合理的であるように思われると結論している．またJohnston [17] は，ある特別な仮定の下で，発注点を求めるための二つの方法，一つは正規分布に従う需要と一定の防御水準を仮定し，もう一つはBurginとWildの方法についてこの二つから結果するlost salesの期待値の差を比較検討した．Iglehart [14] は，在庫の勘定が不正確であったり，情報の流れと物との間の時間のずれ等の原因で在庫記録と実際の在庫量が一致しないことがおこる場合に，品切れを防ぐためのバッファ在庫を，在庫調べの間の累積誤差がそのバッファ在庫を超える確率をある一定値に押えることにより求め，つぎにバッファ在庫に対する保管費用，在庫調べの費用を考慮して，一期当りの総期待費用を最小にする在庫調べの最適間隔を求めている．

1・3 新製品および季節（流行）商品の在庫管理について

この商品の在庫問題は，有限な計画期間で，未知の需要または比較的特殊な需要パターンを仮定した動的（dynamic）な問題として特徴づけられる．

Ravindran [28] は，伝播分布の概念を適用し，任意時点の需要は，それ以前の需要の大きさに依存した需要率を持った非定常ポワソン過程と仮定した．そして季節商品の場合には，そのシーズン中は一定の伝播率を持つと考え，また新製品の場合には，その期間内では一定の伝播率を持つような期間の相続いたものと考え，一期間在庫モデルを構成し，その期待利得を最大にする最適発注量を求めた．さらに，新製品に対して総利得を最大にするようにreview periods，最適なシーズンの長さを計算するためのアルゴリズムを求めている [29]．Kunreuther [20] は，価格の決定と発注計画の問題を季節商品に拡張している．需要は確定的で季節変動するとし，費用は線型で発注固定費がかかるとして，シーズン中は同じ価格を保ちたい（カタログ商品のように）場合に，最適な価格と発注量決定に対するアルゴリズムを求め，シカゴ地区でのある店の6品目に応用した結果を述べている．Crowston [5] は，長い調達期間がかかる部品からなる季節商品の製造計画問題で，製造期間のどこかで需要予測修正を加えられる場合を，製造が1回だけでなく多段階製造システムに拡張して，heuristicな決定ルールを求め，それのシミュレーション・テストを行なった．Hausman [12] は，共通の製造施設を持つという制約のある多品目製品で確率的に季節変動する需要を持つ場合に，各製造量のスケジューリングの問題の数学的定式化を行なった．各製品に対する総需要の予測の修正は行なえるが，製造容量制限のため，あるものは予測がまだ不正確な時点で製造を行なわねばならない．予測修正の仕方についてのある仮定の下でDP問題として定式

化できるが，それは2個以上の製品を考えたときには計算は実行可能ではない．三つのheuristicな方法が多品目に対して与えられ，数値計算例でそれらの費用パフォーマンスを評価している．Hartung [10] は，通常，流行商品の在庫問題は二つの状態変数，一つは手持ちと発注中の在庫量，もう一つは需要に関する情報，を持つDP問題として表現されるが，ここではそれを一つにへらし，与えられた需要予測法に対する簡単なコントロールモデルを求めている．

1・4 腐敗または退化をともなう商品の在庫問題について

これまでの腐敗商品の扱いは，需要と供給が既知と仮定したときの最適ポリシーと，その払出しポリシーに焦点がむけられている．そしてそれらの主要な目的は，LIFOまたはFIFOが最適であるための一般的条件を求めることであった．しかし最適発注ポリシーを求めることも同様に重要な問題である．これに関してNahmias [24] は，期の初めに発注をおこないすぐに新品がとどけられるが，品物は2期でだめになってしまい，各期の需要は独立で同一分布に従い，FIFOポリシーで在庫をはくとし，費用（品切れ費用，退化費用，在庫費用，購入費用）はすべて固定費なしの線型でbacklogをおこなうと仮定したとき，有限な計画期間に対してDPの定式化を行ない，最小化すべき式が決定変数に関しては凸であることを示すが，1期当りの期待費用は，年齢が1の在庫量 (x) と発注すべき新品の量 (y) の2変数関数で$x+y$の関数ではないことから，一つの特性値または (s,S) 型ポリシーは最適とはならない．無限期間に対しては定常な期待割引費用を最小にする定常なポリシーが存在することを証明し，そのポリシーの計算法を求めた．Pierskalla [25] は，新しいモデルに対する最適払出しポリシーを考えた．すなわち品物（たとえば血液）が年齢に従ってカテゴリーにグループ分けされており，需要は各カテゴリーに対しておこるが，それはそのカテゴリーまたはそれより若いカテゴリーからの在庫品でみたされるものとし，また品物は時間に関して階段関数で退化する（年をとる）場合を扱った．需要と供給が確定的の場合と確率的変動する場合について，ある三つの目的関数を定めて，backloggingの場合はそのすべてに対して最適払出しポリシーはFIFOであり，lost demandの場合には三つのうちの二つに対してFIFOが最適であることを示している．またHochman [13] は，腐敗するのではなく成長する品物に対して，現在価格は既知で次期の価格の確率分布が与えられているとき，今期この品物を売るべきか，また次期まで置いておくかを決める問題を考えた．これは，マルコフ過程に対するstopping rulesの特別な場合として扱える．最適ポリシーは，その価格以下なら置いておき，それ以上なら今期売却するというcut off価格関数を求めることになる．Jennings[16] は，とくに血液銀行の在庫問題を扱い，地域レベルと同様に個々の病院における全体の血液在庫問題の解析に対する骨組を与え，その両方の場合における現実的なモデル化をおこない，いくつかの在庫ポリシーについてその効果を解析している．

1・5 多品目在庫管理について

Evans [7] は，多品目の製品の製造で全体のregular timeとover timeに制約がある場合について，idle timeとregular time労働の費用に差がないとし，したがってregular time費用は固定されてい，overtime費用は変動するとし，各製品の価格は一定とするとき，最適製造計画を求めるのにgeneralized Lagrange multiplierの概念を使い，その場合のmultipliersの系列を見つけるためのアルゴリズムを求めた．Maher [22] は，can-order policy4)（joint reorderingとindependent reorderingはこの二つの両極端である）をcontinuous reviewで，各ラインの売高は独立ポワソン過程（パラメタλ_i），調達期間は0，保管費用は線型，発注費用はr個いっしょならm_rとして，iラインに対して$x_i<S_i$ならばQ_iになるように発注し，一つの品物の売却時間が指数分布に従うと仮定して，$c_i=c$，$\lambda_i=\lambda$のときに単位時間当りの費用をcycle当りの期待費用/サイクルの長さの期待値で評価し，ラインの数nが2と3の場合に最適な(Q,S)の領域を図示し，つぎに$n>3$に対する最適値を求めるための近似的方法をのべ，そしてそれは，上の二つのjointとindependent reoderingの大きな改良になっていることを示した．Silver [32] は，continuous review，需要はポワソン，保管費用は線型，調達期間は0で，品切れは許されないとき，ポワソン過程に従って安価な発注費をもつ発注の機会がおこるとして，在庫水準がc以上のとき

4) can-order policyとは，各ラインの在庫はそれがなくなった時点で発注するのだが，その時点で他のラインの在庫はなくなっていなくても，can-order level以下にあれば同時発注をおこなうポリシー．

はこのような機会がおこっても発注しないが，c以下のときにはSになるように発注する$(S,c,0)$ポリシーの評価を，三つの異なった方法を用いて同じ結論に達することを示した．そのほかKrajewski [19]は，個々の製品の保管費用と全体の費用の間の関係に注目し，HMMS5)の2次式近似の適性を評価している．2次式近似の係数が適当に選ばれねばならないが，それは需要に深く関係し，したがって需要のかなり広い変動に対応するルールを展開することは無理であると述べている．

2. Multi-echelon

客の需要をみたすために，二つ以上の相互に関連する供給，製造部門を含むシステムをmulti-echelon在庫管理問題というが，その“もの”の流れの構造により，直列型，並列型，general arborscense 型，general assembly システム型，一般の型と分けられ研究されている．

Love [21] は，直列型で需要が確定的，定期発注，有限計画期間，在庫および製造費用がseparable concave でそれぞれ facilities の順位に関して非減少で，時間に関して非増加の場合には，最適スケージュールは‘nested structure’を持つ，すなわち，ある期において facility j が製造するならば直列の次の facility $j+1$ も製造する，ことを示し，このことを最適スケジュールを見つけるためのアルゴリズムに利用した．計算量は計画期間数の3乗に比例し，facilities の数に線型に増加する．定常で無限期間の場合に対して，アルゴリズムは periodic optimal schedule を与える．

Zacks [35] は，2 echelon 並列型で，需要がポワソン分布，そのパラメタはΓ分布の事前確率分布を持ち，在庫および品切れ費用は線型とし，購入，積出し費用は考えない場合について，前には，総期待費用を最小にするような upper echelon の発注ポリシーがDP法で得られることを示したが，それは面倒な計算を必要としていたので，今度は one-station lower echelon の特殊な場合について，upper echelon に対しては別の目的関数を考え，ある高い確率で，各期のはじめに注文が到着したのちには十分の在庫があり，lower echelon の必要量はみたすことができることを保証するような量を発注するとし，lower echelon の最適在庫ポリシーを求めた．調達期間は upper echelon に対して2カ月，lower に対しては1カ月とする．upper の発注ポリシーは Bayes prediction ポリシーとよばれる．これはDP解法のような面倒な計算は不要である．発注ポリシーの特性をモンテカルロシミュレーションで研究している．Schwarz[31]は，一つの倉庫とN個の小売店在庫システムで需要が確定的，lost sales で倉庫への配達も倉庫から小売店への配達もすべて即時とし，費用として倉庫に対する固定発注費K_0，小売店jに対する固定発注費K_j，保管費用は線型とし，無限期間に対する単位時間当りの期待費用を最小にするポリシーに対する必要条件を求め，一つの倉庫と同一のN個の小売店に対する最適解を与え，一般の問題に対する heuristic な解を示し，最適ポリシーの費用に対して下界を求め，near optimality をテストしている．

Kalymon [18] は，general arborscense 型で，需要は既知，no backlogging で品切れは許さなく，有限な計画期間で，費用は保管費用が線型，製造費用は線型で固定費をともない，lower echelon (followers のないもの) では一般の凹でよい場合に，前に Veinott の解析では大きすぎた計算を実行可能にする decomposition アルゴリズムを開発した．その結果，計算量は，followers を持つ facilities の数に関して指数的に増加するが，lowest facilities の数には線型でのみ増加する．Crowston [4] は，general assembly システム型（すなわち各 stage は，たくさんの predecessor stage からインプットを要求し，そしてそれを一つの immediate successor に供給する）で，需要は一定，品切れは許さない，無限計画期間，製造は即時，費用は保管費用が線型で，ある facility のその単価はどの predecessor facilities のそれよりも小さくないとし，製造費用は線型で固定費がかかるとした場合を扱った．これまでの議論は有限計画期間で既知の（変動する）需要の場合に，製造，保管費用が凹のとき discrete DP で定式化し，とくに直列型構造を持つときに，定常な無限計画期間に対して拡張したのはあるが，それをこの assembly システム型に直接的に拡張できない．この assembly システムに対して，ロットサイズが時間に関して一定という仮定の下で，各 facility におけるロットサイズは，その successor facility におけるロットサイズの整数倍であるような最適なロットサイズの集合が存在することを示し，その計算のためのDPアルゴリズムを構成した．Meyer [23] は，これまでの解析は

5) HMMS: Holt, Modigliani, Muth and Simon.

おもに三つの費用を導入し，その総費用を最小にすることに主眼がおかれているが，ある種の複雑な在庫システムでは，システムの動きを時間の関数として研究することが必要となるとし，二つの方法，第1は，在庫システムの動きを数学的に表現するために線型システムとして解析する，第2は連続なシステムシミュレーションを使う，を示した．

Clark[3]は，1971年までのmulti-echelon在庫管理問題の結果についての総合報告を行なっている．そのなかで将来の研究方向として次のように述べている．まず"State of Art"として，確定的需要に対しては，定式化された問題は少なくとも理論的な観点からは解決されたようであるが，一般的問題に対して解を見つけるための計算量は大きすぎて実用的ではない．しかしそれは理論のせいというより，問題そのものの複雑さに起因すると思われる．しかし，それほど非現実的ではない特別な場合や仮定に対しては，あまり計算量を必要としない効果的な解法が開発されている．確率的な需要に対して適用されたさまざまのテクニックを眺めると，Bessler-Veinott6)の方法が問題に含まれている特徴の点で他のものよりかなり一般的といえる．しかしそれには発注固定費は含まれていないし，またmyopic policiesが最適であるための必要条件は，dynamic factorを考慮するとまったく制限が強い．また計算を可能にするために置かれた仮定も，実用的状況にくらべると強すぎる．しかしこの理論は，multi-activity在庫管理問題に対して，とくに定常または定常に近い条件が成り立つときには，最適ポリシーの特性を解析するのにたいへん有用である．DP法の適用は，計算の実行をある場合には可能にするが，問題の種類が限定され，とくに単一製品問題に限定され，簡単な多品目問題への拡張でさえもまだなされていない．以上の方法は定期発注の仮定の下で適用される．continuous reviewモデルに対しては期待費用と定常過程の方法がとられるが，そのおもな利点は，解を得るための計算量がDPテクニックよりかなり少ないことである．continuous reviewモデルが多品目問題に対して展開されているが，簡単な相互依存関係(たとえば総容量制限とか）のみが考えられている．そのほかheuristicな方法もよく使われている．つぎに'Short-Term Reseach'について，一般にそれは，これまで展開された方法の拡張，精密化，理論的結果を実用化することにある．さらに，(a)比較的簡単なポリシーが最適となるための条件を見つけること，(b)最適解についてのより精密なboundsを決めること，(c)最適解に対するよい近似を求めること，である．もう一つの拡張は，もっと詳細な相互依存関係を考えることである．計算のむずかしさを軽減する方向の研究も有益である．ネットワーク理論の応用もなされているが，これは一般的ネットワーク理論の進歩に依存するので方向づけはむずかしいが，すでに得られた事柄の中での拡張，精密化は可能だろう．一般のcontinuous review, dynamicの問題はたいへんむずかしいが，continuous reviewポリシーに対する階段関数による近似の方向に沿っての研究が有効であろう．さらに'Long-Term-Research'について，現在の理論をいわゆるmulti-network問題と呼ばれるものに拡張することが期待される．これは，大ざっぱにいえば，parts-hierarchy構造とそれに関連する信頼性と最終製品の使用要素が可能なロジスティックス供給システムのネットワーク表現とともに与えられているものとして定義される．理論的には，これは，これまでに研究されたほとんどすべてのmulti-activity在庫問題を包含している．この問題を扱うには，まず第一にもっと厳密な定義を与え，つぎに適当な解法を見つけねばならない．Bessler-Veinottモデルは，現在ある中での一つの可能な出発点かもしれない．

6) Bessler, S. A. and A. F. Veinott, Jr. "Optimal Policy for a Dynamic Multi-Echelon Inventory Model," *Nav. Res. Log. Quart.*, **13**, 355-389(1966).

文　献

[1] Burgin, T. A., *Oper. Res. Quart.*, **23** (1972), 73-80.

[2] Bazaraa, M. S. and A. K. Keswoni, *Nav. Res. Log. Quart.*, **20** (1973), 255-263.

[3] Clark, A. D., *Nav. Res. Log. Quart.*, **19** (1972), 621-649.

[4] Crowston, W. B., M. Wagner and J. F. Williams, *Mngt. Sciec.*, **19**(1973), 517-527.

[5] Crowston, W. B., W. H. Hausman and W. R. Kampe, *Mngt. Sciec.*, **19**(1973), 924-935.

[6] Elmaghraby, S. E. and V. Y. Bawle, *Mngt. Sciec.*, **18**(1972), 508-517.

[7] Evans, J. P. and F. J. Gould, *Mngs. Sciec.*, **18** (1972), 299-311.

[8] Foote, B. L., *AIIE Trans.*, **4**(1972), 65-68.

[9] Gross, D. and C. M. Harris, *Mngt. Sciec.*, **19**(1973), 567-574.

[10] Hartung, P. H., *Mngt. Sciec.*, **19**(1973), 1452-1458.

[11] Hausman, W. H. and L. J. Thomas, *Mngt. Sciec.*, **18** (1972), 265–275.

[12] Hausman, W. H. and E. Peterson, *Mngt. Sciec.*, **18** (1972), 370–383.

[13] Hochman, E., *Mngt. Sciec.*, **19** (1973), 1289–1291.

[14] Iglehart, D. L. and R. C. Morey, *Mngt. Sciec.*, **18** (1972), B-388–394.

[15] Jagannathan, R. and M. R. Rao, *Mng. Sciec.*, **19** (1973), 1295–1300.

[16] Jennings, J. B., *Mngt. Sciec.*, **19** (1973), 637–645.

[17] Johnston, F. R. and D. J. Milne, *Opn. Res. Quart.*, **23** (1972), 573–577.

[18] Kalymon, B. A., *JORSA*, **20** (1972), 860–874.

[19] Krajewski, L. J., V. A. Mabert and H. E. Thompson, *Mngt. Sciec.*, **19** (1973), 1229–1240.

[20] Kunreuther, H. and L. Schrage, *Mngt. Sciec.*, **19** (1973), 732–738.

[21] Love, S. F., *Mngt. Sciec.*, **18** (1972), 327–338.

[22] Maher, M. J., J. C. Gittings and R. W. Morgan, *Mngt. Sciec.*, **19** (1973), 800–808.

[23] Meyer, U. and M. P. Groover, *AIIE Trans.*, **4** (1972), 318–327.

[24] Nahmias, S. and W. P. Pierskalla, *Nav. Res. Log. Quart.*, **20** (1973), 207–229.

[25] Pierskalla, W. P. and C. D. Roach, *Mngt. Sciec.*, **18** (1972), 603–614.

[26] Porteus, E. L., *Mngt. Sciec.*, **18** (1972), 644–646.

[27] Posner, M. J. M. and B. Yansouni, *Nav. Res. Log. Quart.*, **19** (1972), 483–492.

[28] Ravindran, A., *Nav. Res. Log. Quart.*, **19** (1972), 191–203.

[29] Ravindran, A., *JORSA*, **20** (1972), 265–275.

[30] Rose, M., *JORSA*, **20** (1972), 1020–1032.

[31] Schwarz, L. B., *Mngt. Sciec.*, **19** (1973), 555–566.

[32] Silver, E. A., *Nag. Res. Log. Quart.*, **20** (1973), 241–254.

[33] Wheeler, A. C., *Nav. Res. Log. Quart.*, **19** (1972), 601–619.

[34] Yaspan, A., *JORSA*, **20** (1972), 903–904.

[35] Zacks, S. and J. Fennel, *Nav. Res. Log. Quart.*, **19** (1972), 15–28.