在庫理論の最近の動向

反町　迪子

1.　まえがき

在庫管理のモデル化についての文献を調べてみると，その数は1000をはるかに超えていると思われ，多くの研究が精力的に行なわれている．しかし，それにもかかわらずその実用的応用については，あまり良い成果が得られていないように思われる．ここでは，在庫理論の概括的説明を最近5～6年の論文をもとに行ない，今後の課題についてもふれたい．

2.　在庫因子の分類

在庫管理は，各 item 単位に見た場合，次の3つの基本的決定事項，(1) どのくらいの頻度で在庫状態を調査すべきか：在庫調査間隔の決定，(2) いつ補充発注を行なうべきか，(3) 補充発注量をいくらにすべきか，がある．これらの問題に答えるために，種々の在庫管理環境に対応してモデル化が行なわれるが，次のような環境因子が考慮されている．

需要　1.確定的(A1)，2.確率的：(a) 単位期間の需要は既知のパラメターをもつ既知の分布にしたがう確率変数(A2)，(b)既知の特別な分布(たとえば間欠的需要，不規則需要)(A3)，(c)既知の分布型だがパラメターは未知(A4)，(d)確率分布未知(A5)

そりまち　みちこ　職業訓練大学校
〒229 相模原市相原1960

発注量(生産量)　1.確定的：(a)離散量(B1)，(b)連続量(B2)，2.確率変数(農産物のように収穫量が確定的でないもの)(B3)

品目(item)数　1.単数(C1)，2.複数：(a)その製品グループによって使用される予算や空間に全体的制約がある(C2)，(b)補充費用節約のために同時調整管理を行なう(C3)，(c)代替可能製品(C4)，(d)相補的需要(その製品単独でなく他の製品と一緒に需要がある)をもつ(C5)

対象計画期間　1.有限期間：(a) 1期間(D1)，(b)複数期間(D2)，2.無限期間(D3)

時間的変化の様子　1.定常的(静態的)(E1)，2.時間とともに変化する(動態的)(E2)

供給過程の性質　1.既知の確定的調達期間(リードタイム)をもつ(F1)，2.既知の確率分布にしたがう確率的調達期間をもつ(F2)，3.発注量のランダムな一部分(0を含む)のみが納入される(ストライキや品質管理のまずさ等のため)(F3)

費用　1.補充(購入や生産)費用：(a)補充量に直接的比例(G1)，(b) 前項の (a)の部分の他に段取費など固定費がかかる(G2)，(c) 発注固定費の他に補充の大きさに依存する補充単価をもつ(大量購入割引きがある場合等)(G3)，(d)労働集約的製品の生産では学習効果があらわれ，非線形(たとえば，生産量 q に対して $\beta q+\delta q^{b+1}$)(G4)，2.保管費用：(a)平均在庫水準に比例(H1)，(b)借入投下資本全体の量の関数(H2)，3.品切れ損失：平均品切れ量に比例(I)，4.陳腐化損失(J)，5.残存

表1 在庫理論の分類

製品の数	単一	複数	単一	単一	単一	複数		単一	単一
場所の数	単一	単一	単一	単一	単一	単一	単一	単一	複数
インプット特性	確定的	確定的	確定的	確定的連続量・離散量	確定的連続量・離散量	確定的	確率的	確定的	確定的
アウトプット特性	確定的	確定的	確率的	確率的	確率的	確率的	確率的	確率的	確定的 確率的
時間的変化	定常的 動態的	定常的 動態的	定常的 動態的	定常的	定常的 動態的	定常的	定常的	定常的	定常的 動態的
目的関数	費用最小 (利益最大)	費用最小	費用最小	費用最小	費用最小	費用最小	費用最小	信頼性基準	費用最小
在庫調査方式	定期的 連続的	定期的 連続的	連続的	連続的	定期的 連続的	定期的 連続的	定期的 連続的	連続的	定期的
品切れの扱い	backlog lost sales	backlog lost sales	backlog lost sales	backlog lost sales	backlog lost sales	backlog lost sales	backlog lost sales		backlog lost sales
リードタイム	確定的 確率的	確定的	確定的 確率的	確定的	確定的 確率的	確定的	確定的	確定的	確定的
制約条件	なし あり	あり	なし あり	なし	なし	あり	なし		なし あり
	確定的単一製品モデル	確定的複数製品モデル	確率的需要 (s, Q) モデル	確率的需要 (R, S) モデル	確率的需要 (s, S) モデル	確率的需要複数製品モデル	確率的アウトプット・インプットモデル	信頼性基準モデル	多階層モデル

価値(K)，6.売却価格：(a)確定的(L1)，(b)確率変数(L2)，7.生産水準変更により生ずる費用：(a)その量に直接的比例(M1)，(b)前項の(a)の他に固定費(M2)，8.システム管理費用(N)：この費用は在庫理論の文献ではほとんど無視されているが，実際ある在庫規則を適用するとき，それに必要なデータを得るための費用，計算にかかる費用，その他実施にともなう費用がかかる．

過剰需要の扱い方 品切れをおこしたとき，その需要について：1.完全なbacklog(受注残)可能(O1)，2.backlog不可能(売り損じ)(O2)，3.一部分backlog可能，他は売損じ(O3)

在庫寿命の考慮 1.退化(P1)．まだ使える物理的状態にあるが，新製品出現などのためもはや元の価格では売却できない場合，2.品質低下または腐敗(P2)．血液などのように，ある時間経過すると使用不可能となる場合．

在庫関連地点の個数 1.1箇所(Q1)，2.複数箇所(Q2)

評価基準 1.総費用最小化，(a)割引きを考慮する場合(R1)，(b)しない場合(R2)，2.利益最大化，(a)割引きを考慮する場合(R3)，(b)しない場合(R4)，3.在庫投資に対する収益率の最大化(R5)，4.信頼性基準(あらかじめ客への最小許容サービス水準を定めておく等)(R6)

3. 標準的在庫問題

(a)単一品目，確定的需要，静態的モデル(A1—C1—E1—G2)—経済的発注量とその変形

これらの条件は，実際使用されている古典的経済発注量(EOQ)，(1)$Q^* = \sqrt{2DK(h+p)/hp}$，(ただし，Kは発注固定費，Dは一定需要率，h, pはそれぞれ単位時間当りの保管費用およびバックオーダー費用)を導くが，それは，また，もっと複雑な状況を処理するための決定規則に対する重要な基礎を与えるものである．EOQの変形として，購入量に関して大量割引きのある場合(G3)，学習効果のある場合(G4)，既知の補充リードタイムのある場合(F1，F3)，補充の大きさに制約のある場合(B1)を組み込むことはむずかしいことで

はない．しかし，確率的調達期間をもつ場合（F2)は，簡単に扱えなく，次のような仮定の下で解析されている．発注済みで未決済分は高々1回である．これは調達期間が各期独立な確率変数であるときには，必ずしも成立しえないが，たとえば，発注間隔が通常十分大きくて，本質的には発注間の相互作用がない，または発注の交差する確率は無視できるほど小さい等の場合には妥当である．または，各需要は特別注文であり交換不可能である状況を考えれば，発注の交差はしてもその影響を考える必要はない．このような仮定の下で，backlog可能の場合(O1)に，一意解の存在および最適パラメターの満たすべき2つの方程式が導かれていて，調達期間が(a, b)間の一様分布にしたがうとき，(2)$Q^*=\sqrt[3]{12D^2K(b-a)/(h+p)}$が得られている[30]．しかし，この式はパラメターがある条件を満足するときしか適用できないので，さらに式(1)の拡張になる形が求められている．それは，調達期間分布の範囲が有限であるという仮定の下で，(3) $Q^*=\sqrt{[2DK(h+p)+\sigma^2D^2(h+p)^2]/hp}$,（ただし，$\mu, \sigma^2$はそれぞれ調達期間の期待値，分散)が得られている[43]．

(b)予算，空間，仕事量などの制約条件のある，複数品目，確定的需要，静態的モデル（A1—C2—E1)

乏しい資源を，製品のグループのあいだで適当に配分するための決定規則は，ラグランジュ乗数法によって導かれる．制約条件をゆるめることの利益を示すための交換曲線も得られている．大抵の場合，個々の発注量決定規則はEOQによく似ている．

(c)単一品目，確定的需要，複数期間，動態的モデル(A1—C1—D2—E2)

需要水準が既知の様相で期ごとに変わる，いわゆる動的ロットサイズ問題，Min $\sum_{t=1}^{T}[K_t\delta(X_t)$注1) $+h_tI_t+v_tX_t]$, subj. to : $I_{t-1}+X_t-I_t=d_t$, $X_t, I_t \geqq 0, t=1, 2, \cdots, T$である，(ただし$X_t$は$t$期の生産量，$I_t$は$t$期から$t+1$期のあいだの在庫量，$K_t, h_t, v_t$はそれぞれ$t$期の段取費，単位当りの保管費，生産費，$d_t$は$t$期の需要量)．この問題に対して，古くは，Wagner と Whitin (1958)が$O(T^2)DP$アルゴリズムを与えたが，それ以来広く研究が行なわれている[36]．しかし，それらの努力にもかかわらず，実際上しばしばおこる大規模型のロットサイズ問題は，解くのに時間がかかりすぎたり，むずかしい．そのため，種々のheuristic 手順が開発されている．また，そのheuristic 手順の最悪の場合の誤差評価も行なわれており，最悪の場合についてよりよい成果をもたらす heuristicな方法や[5]，最悪の場合の成果の限界も求められている．

この問題の変形，拡張として，上の条件の他に$X_t \leq C_t (t=1, \cdots, T)$がつけ加わった場合について，多項式時間アルゴリズムで解き得る問題のクラスを特定し，解の手順が得られている[7]．また，調達期間が確率的変動をする場合(F2)[35]，需要量は既知だがその時期が不確定の場合[9]，そして，MRP (Material Requirement Planning) システムへのロットサイズ問題の応用についても議論されている．

(d)単一品目，確定的需要，複数期間，動態的，生産水準変更費用(A1—C1—D2—E2—K)

支払給料総額，人的資源水準変更費用，生産水準変更費用，時間外労働費用などを考慮するいわゆる生産計画，生産平滑化問題である．全体の生産率と労働力水準によって最適計画を決定する問題は，Holt, Modigliani, Muth and Simon (HMMS) (1960) によって線形決定規則が与えられ，それ以後種々の議論がなされている[28]．

(e)複数品目，確定的需要，複数期間，動態的，生産水準変更費用(A1—C2—D2—E2—K)

HMMSモデルの複数品目の場合であるが，モデルの大きさのため計算が困難となる．それについて，計算効率や，複数品目モデルを単一品目モデルに帰する条件や[24]，近似的方法[47]等が求められている．また，すべての生産が客の発注に対

して行なわれ，需要は定常確率過程である場合(A2—E1)のジョブ・ジョップ情況における生産平滑化も議論されている[11].

(f)同時調整管理を行なう複数品目，確定的需要，動態的モデル(A1—C3—E2)

個々の製品発注の際の段取費の他に，共有の段取費がかかる場合で，backlog不可能の場合(O2)に，最適発注政策を見つけるための実用的（状態空間の大きさ，所要時間などが）DP定式化が与えられている．また，非常に簡単な発見的方法もある[27]．機械の生産能力等により各期の各製品の生産水準の和が制約を受ける場合は，(c)の全体制約付複数品目への拡張であるが，これを単一品目で容量制限のない問題に対するファセットである妥当な不等式のクラスを使って定式化し直し，LPを使って最適解が求められている[2].

(g)正規労働時間の容量制約条件付き単一製品，確率的需要，複数期間，信頼性基準モデル(A2—C1—D2—R6)

これに対する確定的近似を考え，需要の通常使われる分布に対して，その相対的誤差限界は非常に小さいことを示している[6].

(h)単一品目，確率的需要，定常的モデル(A2—C1—E1)

実用上，よく使われる管理システムは3つある．(h1)(s,Q)または2-ビンシステム：これは，連続在庫調査方式で，固定発注点s，固定発注量Qをもつ．種々の品切れ損失評価やサービス制約に対して，Q, sを求めて決定規則を得ている．$Q=EOQ$に固定すると，計算労力が減ってしばしば手ごろな結果が得られる．文献にあらわれる大抵のモデルは，全体として一定の調達期間(F1)を仮定している．しかし，調達期間と単位時間あたりの需要が独立確率変数であるならば，確率的調達期間(F2)に対して決定規則を修正することは容易である．調達期間中の需要に通常使われる確率分布は，正規分布，ガンマ分布，ポワソン分布である．それら最適政策を求める近似的方法やその比較，品切れ損失に対する感度分析も行なわれている[12]．なお，大きな需要処理(A3)によって再発注点にちょうどではなく，それより下まわってしまうことがおきる場合は，簡単なモデルが作れない．

(h2)(R,S)または定期発注方式：発注はR期間(在庫調査間隔)ごとに，在庫位置注2)を発注引上げ水準Sになるように行なう．(R,S)と(s,Q)システムの物理的オペレーションも費用もまったく異なっているようであるが，(R,S)システムにおけるSの決定は(s,Q)システムにおけるsの値を見つけることに数学的に等価であることが示されている[36].

(h3)(R,s,S)または定期在庫調査，発注点，発注引上げ水準システム：R期間ごとに，もし在庫位置が十分低い，すなわち発注点sかあるいはそれ以下にあるならばその時のみ，在庫位置をSに上げるように発注を行なう．多くの実際上の在庫問題は，(R,s,S)方式が最適である数学的条件をほぼ満たしているし，この形のルールは実行も容易であり，また他のやり方に比べてより多くのデータを必要とするわけでもない．しかし，最良のポリシーを計算するための科学的方法は滅多に使われなかった．それは，非常に面倒で高くつくと考えられ，数学的最適性というものに疑問がもたれたからである．しかし，幸いなことに，このポリシーに関する理論的および計算方法の研究は最近でもよく行なわれており，実用に適したレベルまでほぼ達してきたように思われる．その研究方向は，(1)有効なアルゴリズムの開発，(2)近似的解法，発見的解法の研究，(3)在庫位置，総費用などオペレーティング特性の定常的解析，(4)各近似法の数値的比較検討，(5)感度分析，などである．

定期的在庫調査で，無限計画期間，定常的，調達期間一定，完全backlog，各期の需要は独立で同一分布にしたがう場合（D3—E1—F1—O1），(1)について，任意の(s,S)から出発して，改良ポ

リシー系列を生成し有限反復回数で最適値に収束し，最適費用の下界がすべての反復で計算でき，任意の望ましい精度水準に達した準最適で止めることもできる反復アルゴリズムの開発[19]，(3)について，単位時間当りの総費用 (s, D)，$(D=S-s)$ の s に関する凸性はわかっていたが，さらに，需要分布のある仮定の下で，D に関して擬凸であることの証明[40]，(2)について，ベキ近似を行ない，需要分布の期待値 μ，分散 σ^2 に対して，$D_P=1.463\mu^{0.364}(K/h)^{0.498}\sigma_L{}^{0.138}$，$s_P=\mu_L+\sigma_L{}^{0.832}(\sigma^2/\mu)^{0.187}(0.220/Z+1.142-2.866Z)$，$(Z=\{D_p/[(1+p/h)\sigma_L]\}^{0.5}$，$\mu_L=(L+1)\mu$，$\sigma_L{}^2=(L+1)\sigma^2$，$L$ は調達期間，K, h, p はそれぞれ発注固定費，保管，品切れ損失単価)とし，$D_P/\mu>1.5$ ならば最適 $s^*=s_P$，$S^*=s_P+D_P$ と求められる[13]，またその改訂も行なっている[14]，(4)については，これまで行なわれている近似法についてサーベイを行ない(a)ショートカット法：ある確率的 DP を確定的問題を使って近似する方法[23]，(b)連続的在庫調査修正法，(c)アナロジイ法：類似なモデルに対する最適ポリシーで近似する方法[32]，(d)ベキ近似法：特定のデータベースの上で，ある関数形を使って，最良当てはめを行なう方法[13]，について数値的検討を行なっている[37]，(5)について，簡単な感度分析に対する方法を与え，製品がベキ近似法を使って管理されるとき，オペレーティング特性に対する近似的表現を導びいている[16].

連続的在庫調査で，調達期間一定，完全backlog（F1—O1），需要発生間隔および需要の大きさが独立，同一の任意確率分布にしたがうとき，時刻 t における手持ち在庫量，在庫位置の時間に依存する分布および定常分布を求め，最適な s^*, S^* を求める式を導いているが，その数値計算は電算機の助けなしでは求められない，近似式も検討している[17,39]．また，調達期間および需要が状態に依存する分布をもつ場合も検討されている[46].

調達期間が確率的（F2）場合について，発注が時間的にクロスしない，調達期間分布は未決済注文の数，大きさに独立であるという仮定の下で，myopic base stock ポリシー最適性の条件，(s, S) ポリシー最適性の条件を与え，無限期間における最適，近似的最適 (s, S) ポリシーに対するアルゴリズムが求められている[15].

また，この（A2—C1—E1）モデルで，需要は連続的確率変数だが発注は整数値に限られる場合について，最適政策は，発注固定費 $K=0$ の時は，両者共連続変数である場合に似ているが，$K>0$ の場合は，一般にきれいな形をしていなく最適発注は(ある点の近くで)在庫水準の増加関数となることが示されている[45].

(i)予算的または空間的制約のある複数品目，確率的需要，定常的モデル（A2—C2—E1）

製品のグループ間で与えられた安全在庫を，(たとえば年間あたりの総期待品切れ回数などの）総合的利害の測度を最小にするように配分するために，ラグランジュ乗数法にもとづいた決定規則が求められている．また，適用できる総安全在庫の大きさを変えることの効果をみるために交換曲線が有効である[25]．なお，予算をはじめにどのくらい使い，どのくらいを後でスポット購入に備えて残しておくかという問題もＬＰモデル化されているが非常に複雑である[31].

(j)単一品目，確率的需要，一期間モデル（A2—C1—D1）

これは古典的「新聞売り子の問題」または，「クリスマスツリー問題」である．

(k)予算制約のある複数品目，確率的需要，1期間モデル（A2—C2—D1）

ラグランジュ乗数法によって，数多くの品目のあいだで予算を分配するための簡単な決定規則が求められている．さらに，交換曲線により，異なる大きさの予算の効果をグラフ的に表現可能である．また，この通常のラグランジュ法に対して，計算労力のより少ない発見的解法も求められている[34].

(l)同時管理する複数品目，確定的需要，複数期

間，定常的モデル(A1—C3—D2—E1)

補給の相互依存する費用特に，その補充にどのitemが含まれているかに無関係にグループ補充ごとに大きな固定費用がかかるようなitemの各グループの補充サイズを決める問題がモデル化されている[41]．この場合，発注時期は，itemsグループに対して決められ，グループ内の個々のitemはそのグループサイクル時間の整数倍の発注サイクルをもつのに対して，グループ内のすべてのitemは同時に発注される場合やまたその修正モデル[1]，種々のitemのあいだの発注費用にもっと一般的相互関係がある場合も扱われている[38]．

(m)同時管理する複数品目，確率的需要，複数期間，定常的モデル(A2—C3—D2—E1)

大量購入割引きや段取費節約のために，itemsのグループで同時管理を行なうことは有利である．IBM IMPACTシステムは，定期的在庫調査の下で，同時管理の方法を与えている．しかし，その方法は簡単でなく，ルーチン使用に対してコンピュータを必要とする．もっと簡単な補充規則の開発が望まれる．これとは異なった型として，連続的在庫調査で，需要がポワソン過程，完全backlog(O1)で，itemsグループのどの補充にも多額の段取費とその補充に含まれる個々のitemに依存する少額の段取費がかかる場合に，サービス水準制約条件の下で，最適な(S,c,s)注3)同時管理規則を求める発見的アルゴリズムが得られている[22]．

(n)腐敗しやすい単一品目，確率的需要，定常的モデル(A2—C1—P2—E1)

血液など製品の腐敗が決定的である場合の在庫問題である．腐敗までに一定の寿命m(m単位時間後に捨てなければならない)をもつ場合，定期在庫調査の下で，$m \geq 3$に対して，複数次元状態変数のため最適政策の計算時間は非常に長く実用的でない．発注引上げ水準クリティカルナンバーポリシーに関する決定に対して簡単な近似的解法が求められている．しかしそれは固定段取費が無視できる場合で，もしその費用が重要なときには，発注点システムは適当かもしれないが，その状況に対して簡単な手順は開発されていない．連続的在庫調査を行なうとき，需要が定常ポワソン過程，調達期間が0という強い仮定の下では，最適政策は在庫水準が0である時のみ発注することが示されているが，これは調達期間が正とかバルク需要に対しては明らかに成立しなく，その場合に最適もしくはよりよい発注政策を決定する問題は解かれていない．また，腐敗しやすい品物に対する価格づけのポリシー(古い品物の値段を下げる)も考慮すべき問題である[33]．

(o)多階層在庫モデル(Q2)

確定的需要(A1)の特別の場合に対する決定規則が多く開発され，それはもっと現実に近い確率的需要の場合を扱うために役立っている．軍事関連の特別の確率的多階層在庫問題も数多く研究されている．中央デポと確率的需要をもついくつかのlocationsからなる2階層システムで，デポは定期的に外部に発注を行ない，それをいくつかのlocationsのあいだで配分する．それぞれ一定のリードタイム(F1)がかかる．このようなシステムの初期の研究は，最適政策の質的特性に向けられていたが，複数locationsの場合には一般に真の最適値を見つけることは困難である．最近では，簡単に計算し実行できる最適に近いポリシーや，設計とパラメトリック研究のための総システム費用の精密な近似を求める方向にかなりの進歩が見られる．デポが在庫を保持しないという仮定の下で，正規分布にしたがう需要に対して，最適に近い発注政策と，最適費用の近似を与えるために問題のDP表現を近似し，簡単で有効な配分政策を求めている[20]．また，複数期間(D2)，動態的(E2)の場合に，単一location在庫問題によって系統的に近似し計算可能にできることを示している[21]．低階層が1カ所のみの場合に，上のようにデポは在庫をもたないという特別の仮定なしに，費用，需要が定常的(E1)で無限期間(D3)，

定期在庫調査を行なう場合を議論し，そのモデルを使って複数 locations の場合を近似する方法も与えている[18].

(p)MRP

MRP は，複数段階生産システムにおける生産計画を決定するためによく使われている実用的な方法である．最終製品の生産計画は，原料の帳簿とリードタイム情報にもとづいて，どの部品がいつど，れだけ必要かを決定することである．

この複数段階ロットサイズ決定問題には (1)最適解を得るためのアルゴリズムの開発，(2)プロセス段階間の相互依存性を無視して，逐次に単一段階ロットサイズ決定法を適用する heuristic 方法の活用，(3)段階間の相互依存性を評価しようと試みる修正コストを使って，単一段階アルゴリズムの逐次適用を行なう[8]，の 3 つの基本的接近法がある．

生産構造を 4 つの型にわけてみると，(a)直列型：capacity 制限がないとき，凹の費用に対して比較的有効な解法，ロットサイズ決定に対する発見的方法，1 つの capacity 制限，最終製品水準の生産に上限があるモデル[29]，各段階で capacity 制限をもつ時ラグランジュ緩和法を用いるモデル，等がある．(b)並列型：資源に関する制限がないならば各 item は独立に扱いうる．各レベルに制約がある場合，非常に強い仮定の下で，最適化アルゴリズムが得られている．総生産と総在庫の両方に制約がある一レベル並列型に対して，ネットワーク定式化を使って 3 期間問題に対する最適アルゴリズムと n 期間に対する発見的扱いがある．(c)アッセンブリイ型：多く研究されているが，複数製品や製品の capacity 制限による複雑さは十分解析されていない．(d)一般型：work-center capacity 制約なしにロットサイズ決定に対する整数計画解を与えている[44]．ロットサイズとリードタイムと capacity 利用計画を同時に決定する問題に対して混合整数線形計画法を開発し，そして問題の大きさを減らすために Product Structure Com pression を与えている[3]．また，HPP(Hierarchical Production Planning) と MRP システムの比較も行なわれている[4]．

4. あとがき

在庫理論と実際とのあいだのギャップについて，いろいろ議論されているが[10,42]，在庫モデルの実行を妨げる原因としては，在庫理論が非常に断片的であり，数多くのモデル，それに対応する定式化，解法が種々雑多であること，さらにその解法は難しすぎる，ということが考えられる．したがって，今後の課題としては，簡単に実行できる解法，近似的解法，heuristic 解法の開発，個々の item にもとづいた解析だけでなく，システム全体の性能に重点を置く，在庫モデルの分類を行なってコード化する[10]，在庫モデルにおける仮定と効率測度の関係の解析，特殊な需要パターンに対する解析，未来の供給や発注価格[26]の不確実性に対する考慮，等が考えられる．

参 考 文 献

[1] Aggarwal, V., *Nav. Res. Log. Quart.*, 31, 1, (1984), 131-136

[2] Barany, I., Roy, T. J. V. and Wolsey, L. A., *Mngt. Sci.*, 30, 10, (1984), 1255-1261

[3] Billington, P. J., McClain, J. O. and Thomas, L. J., *Mngt. Sci.*, 29, 10, (1983), 1126-1141

[4] Bitran, G. R., Haas, E. H. and Hax, A. C., *Opns. Res.*, 30, 2, (1982), 232-251

[5] ______, Magnanti, T. L. and Yanasse H. H., *Mngt. Sci.*, 30, 9, (1984), 1121-1140

[6] ______, Yanasse, H. H., *Opns. Res.*, 32, 5, (1984), 999-1018

[7] ______, ______, *Mngt. Sci.*, 28, 1, (1982), 1174-1186

[8] Blackburn, J. D. and Millen, R. A., *Mngt, Sci.*, 28, 1, (1982) 44-56

[9] Burstein, M. C., Nevison, C. H. and Cari-

son, R. C., *Opns. Res.* 32, 2, (1984), 362–379

[10] Chikān, A. *The Economics and Management of Inventories*, Part B, Elsevier, 1981

[11] Cruickshanks. A. B., Drescher. R. D. and Graves. S. C., *Mngt. Sci.* 30, 3, (1984), 368–380

[12] Das, C., *Nav. Res. Log. Quart.*, 32, 2, (1985), 301–313

[13] Ehrhardt, R., *Mngt. Sci.*, 25, (1979), 777–786

[14] ______, and Mosier, C., *Mngt. Sci.*, 30, 5, (1984), 618–622

[15] ______, *Opns. Res.*, 32, 1, (1984), 121–132

[16] ______, *Nav. Res. Log. Quart.*, 32, 2, (1985), 347–359

[17] Federgruen, A. and Schechner, Z., *Opns. Res.*, 31, 5, (1983), 957–965

[18] ______, and Zipkin, P., *Opns. Res.*, 32, 4, (1984), 818–836

[19] ______, ______, *Opns. Res.*, 32, 6, (1984), 1268–1285

[20] ______, ______, *Nav. Res. Log. Quart.*, 31, 1, (1984), 97–130

[21] ______, ______, *Mngt. Sci.*, 30, 1, (1984), 69–84

[22] ______, Groenevelt, H., and Tijms, H. C., *Mngt. Sci.* 30, 3, (1984), 344–357

[23] Freeland, J., and Porteus, E., *Opns.* Res. 28, 353–364

[24] Gaalman, G. J., *Mngt. Sci.*, 24, 16, (1978)

[25] Gardner, E. S., Jr., and Dannenbering, D. G., *Mngt. Sci.*, 25, (1979), 709–720

[26] Golabi, K., *Opns. Res.* 33, 3, (1985), 575–588

[27] Kao, E. P. C., *Opns. Res.* 27, 2, (1979), 279–289

[28] Krajewski, L. J., Mabert, V. A. and Thompson, H. E., *Mngt. Sci.* 19, 11, (1973)

[29] Lambrecht, M. and VanderEecken, J., *European J. Oper. Res.* 2, 2, (1978)

[30] Liberatore, M. J., *Opns. Res.* 27, 2, (1979), 391–396

[31] Morey, R. C. and Sweeney, D. J., *Mngt. Sci.*, 30, 5, (1984), 604–617

[32] Naddor, E., *Technical Report* 330, John Hopkins Univ., 1980

[33] Nahmias, S., *Opns. Res.* 30, 4, (1982), 680–708

[34] ______, and Schmidt, C. P., *Nav. Res. Log. Quart.*, 31, 3, (1984), 463–474

[35] Nevison, C. and Burstein, M., *Mngt. Sci.* 30, 1, (1984), 100–109

[36] Peterson. R. and Silver, E. A., *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*, Wiley 1979

[37] Porteus, E. L., *Opns. Res.* 33, 1, (1985), 134–152

[38] Rosenblatt, M. J. and Kaspi, M., *Mngt. Sci.* 31, 3, (1985)

[39] Sahin, I., *Opns. Res.* 27, 4, (1979), 717–729

[40] ______, *Opns. Res.* 30, 4, (1982), 709–724

[41] Silver, E. A., *Mngt. Sci.* 22, (1976), 1351–1361

[42] Silver, E. A., *Opns Res.* 29, 4, (1981), 628–645

[43] Sphicas, G. P. and Nasri, F. *Nav. Res. Log. Quart.* 31, (1984), 609–611

[44] Steinberg, E. and Napier, H. A., *Mngt. Sci.* 26, (1980), 1258–1271

[45] Tsitsiklis, J. N., *Mngt. Sci.* 30, 10, (1984), 1250–1254

[46] Wijngaad, J. and Van Winbel, E. G. F., *Opns. Res.* 27, 2, (1979), 396–401

[47] Zipkin, P., *Mngt. Sci.* 28, 9, (1982), 1002–1012

注)

1) $\delta(X_t)=1(X_t>0$ の時), $=0$(それ以外の時)

2) 在庫位置＝手持ち在庫－バックオーダ在庫＋発注中在庫

3) 各製品 i に対して，3つのパラメター $s_i \leq C_i < S_i$ を特定し，その在庫水準が再発注水準 s_i 以下になったら発注がなされ，在庫水準がそのcan order level C_j 以下である製品 j はこの発注に含まれ，この発注における各製品 k の在庫を発注引上げ水準 S_k になるように補充する管理ルール