

間欠需要での在庫管理の新手法

限られたデータでも、需要分布がわからなくても使える

DPM 研究舎 佐々木俊雄

目次

第 1 章 一般的な需要分布形状をベースとした在庫管理.....	2
1.1 需要の構成要素.....	2
1.2 一般的な需要の分布形状	2
1.3 在庫管理の狙い.....	2
第 2 章 間欠需要の分布形状.....	3
2.1 売れない日もある;間欠需要.....	3
2.2 現行の在庫管理が使えない	4
第 3 章 需要構造をみる	4
3.1 在庫の動きは物理現象である	4
3.2 受注数量データの項目	4
3.3 受注数量/月の度数分布.....	5
3.4 需要データのまとめ方に潜む落とし穴.....	6
3.4.1 受注件数の特性	6
3.4.2 量/件の特性.....	6
3.5 受注件数と量/件の分布.....	7
3.6 受注件数と量/件から受注数量を算出する	7
第 4 章 必要な情報は補充時間での需要分布	10
4.1 集計時間と補充時間との関係	10
4.2 受注件数はどうなるか	10
4.3 受注数量の計算.....	11
第 5 章 補充時間の変動を考慮する.....	12
終章 まとめに換えて	13

第 1 章 一般的な需要分布形状をベースとした在庫管理

1.1 需要の構成要素

”売るもの”を、“いつ”、“いくつ”、準備するか。これが需要に応える基本要素である。小売店に客が来て商品 A を 2 個買う。小売店の立場で需要をみれば、商品 A が 2 個売れたとき、需要が実現する。売上高も重要な要素ではあるが、人為的な経済価値は、在庫管理の基本的メカニズムの解析にとって異質な外乱要因となりうるので、ここでは省略する。

1.2 一般的な需要の分布形状

小売店で商品 A がどのぐらい売れたかをみるとき、売れた時刻と買上点数でみたのではわかりにくい。1 日に何個売れたかをみた方が分かりやすい。売れ行きの悪い商品なら 1 日ではなくて、1 週間に何個売れたかをみる。商品によっては 1 カ月単位で集計する。

売れ行きは変動する。1 日 10 個売れる日もあれば 5 個しか売れない日もある。このようなバラツキをみるのに度数分布が便利である。横軸に売上数量、縦軸に度数をとる。すると、多くの場合、正規分布と呼ばれる釣鐘状の分布形状となる。

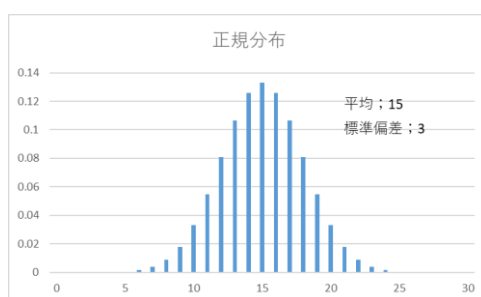


図 1 正規分布の一例

需要分布だけではなく、正規分布は世に広くみられる。なぜか。世の多くの事象は偶発的結果の平均値のようなものであり、それらが集まると正規分布となることは中心極限定理で証明されている。正規分布に関しては様々な統計手法が開発され、応用範囲も広い。正規分布の代表的なパラメータは平均と標準偏差である。図 1 に平均 15、標準偏差 3 の正規分布の一例を示す。

1.3 在庫管理の狙い

どのような商売でも、顧客の注文に対する欠品は避けたいものだ。そのためにはできるだけ多くの在庫が必要だが、在庫保持には費用がかかる。極力在庫を少なくし経費を抑えなければならない。サービス率（1-欠品率）を最大に維持しながら、一方、在庫数量をできるだけ少なくする。これが在庫管理の狙いである。

サービス率と在庫数量はトレードオフの関係にある。そのバランスは適正在庫をいくつに

するかで調整する。適正在庫は下記の式で計算する。

適正在庫＝補充時間での平均需要＋安全在庫

安全在庫＝安全係数×補充時間での需要の標準偏差

一般的には、補充時間は在庫管理環境でまちまちなので、データ集計しやすい時間（1 日、1 週、1 カ月、以下集計時間）で取られたデータを需要の平均と分散は時間に比例することを利用して、次の式で求める。

$$\text{適正在庫} = \text{集計時間での平均需要} \times \frac{\text{補充時間}}{\text{集計時間}} + \text{安全在庫}$$

$$\text{安全在庫} = \text{安全係数} \times \sqrt{\frac{\text{補充時間}}{\text{集計時間}}} \times \text{集計時間での需要の標準偏差}$$

しかし、この計算式は、無条件で成立するわけではない。“需要の分布は正規分布である”ことが前提条件となっていることを忘れてはならない。

第 2 章 間欠需要の分布形状

2.1 売れない日もある;間欠需要

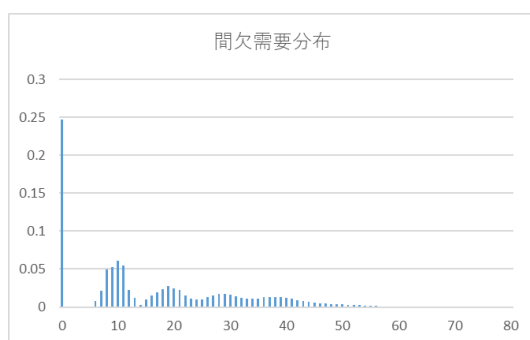


図 2 間欠需要分布の一例

小売店では、品目すべてが毎日売れるわけではない。そのような商品は 2～3 割程度。売れ筋商品と言われるものだ。他の 7～8 割は売れる日もあれば、売れない日もある。このような需要パターンを間欠需要と呼ぶことにする。

小売店だけではなく、サプライチェーン全体を見渡しても、間欠需要に属する商品の方が多い。保守部品などはほとんどが間欠需要だ。

間欠需要では、売上数量がゼロの確率が高くなり、その分布は釣鐘状にはならない。条件により様々な形状となる。図 2 に間欠需要分布の一例を示す。

2.2 現行の在庫管理が使えない

間欠需要では需要そのものの発生（受注、出荷、）頻度が低い。結果、データが少ないことが多い。データ数が少ないと統計理論の力が発揮されず、近似できる分布形状の推定もうまくいかない。仮にデータが十分にあってても需要は正規分布とはならない。

一般の在庫管理論では、受注数量のバラツキは正規分布に近似することを前提に構築されていることは既述の通り。間欠需要では分布形状を推定することも難しく、できたとしても正規分布とはならないのなら、現行の手法を使って、在庫管理で最も重要な在庫補充時間での必要在庫（適正在庫）量を知ることは困難となる。現行の在庫管理の手法が使えないのである。このような背景から、間欠需要に則したいくつかの手法・アイディアが提案されているが、大多数が納得する方法はまだ見えていない。

本ペーパーは、間欠需要が持つ基本特性がゆえに、一般の在庫管理論を適用できない領域に、まったく新たな視点から間欠需要構造を分析し、限られたデータ数で、且つ、分布形状にかわりなく、その形状を算出し、適正在庫を推定する方法について述べる。

第3章 需要構造をみる

3.1 在庫の動きは物理現象である

需要があつての在庫管理である。サプライチェーンに視野を広げても、需要がトリガーとなって在庫が動いていることは容易に察しが付く。在庫管理やサプライチェーンを流動する物品の動きは、人為的な要素と物理的な要素が絡み合っている。人は、欠品の心配と過剰在庫の不安との葛藤の中で在庫管理を行っている。一方、物品を製造し運ぶためには労力と時間を要す。欲、駆け引き、感情などが織りなす人為的な要素と時間、空間、エネルギー等の物理的な要素。どちらも重要であるが、コントロールする視点からみると、人為的な要素より物理的な要素が優先する。需要の構造は一義的に物理現象として捉えなければならない。

3.2 受注数量データの項目

何が、どれだけ、いつ売れたか。これが需要の構成要素である。具体的な項目の一例を示す。

*受注商品コード —————何が
*受注数量 —————どれだけ

* 納入先検収時刻（年/月/日/時/分）　——いつ売れたか

ある商品の 1 年間の受注数量を集計した一例を表 1 に示す。

年/月	受注数量/月	受注件数/月	内訳: 量/件				
20xx/1	33	3	13	13	7		
2	0	0					
3	0	0					
4	0	0					
5	0	0					
6	12	1	12				
7	28	3	9	10	9		
8	12	1	12				
9	0	0					
10	10	1	10				
11	37	4	10	11	8	8	
12	16	2	7	9			

表 1　ある商品の月毎受注数量データの一例

1 月は 33 個の注文があったが、2 月から 5 月まではゼロ。6 月からまた注文が入り 12 個、7 月は 28 個、8 月は 12 個、、の注文があった。

3.3 受注数量/月の度数分布

月毎の受注数量を横軸にそれらの頻度を縦軸に度数分布で表すと図 3 のようになる。受注数量がゼロの月が 5 回、10 個の月が 1 回、12 個の月が 2 回、、という具合である。

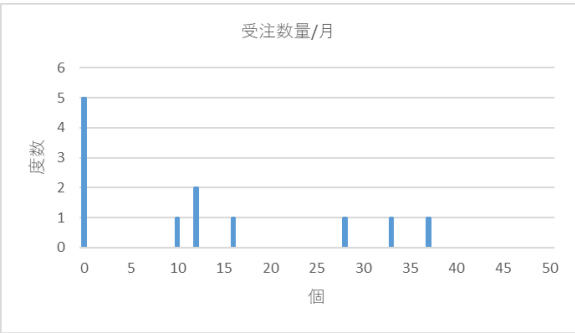


図 3 をみれば、正規分布とは程遠いことは一目瞭然。かといって、分布を特定することもできない。このようなデータから安全在庫を計算し、必要在庫（適正在庫）を設定することはできるだろうか。

図 3　受注数量/月の棒グラフで示す度数分布

一般的に需要（受注・出荷数量など）は、図 3 に例示するように、ある期間（日、週、月、、）ごとにまとめ、その分布形状で把握することが多い。しかし、12 カ月間の受注データをま

とめて需要分布をみても、歯抜け状態で、その輪郭を捉えることも難しい。期間ごとに受注数量をまとめて需要分布を捉える方法には限界がある。

3.4 需要データのまとめ方に潜む落とし穴

需要をある期間ごとにまとめる方法は一般に広く行われている。一般の需要分布では特に問題はないが、間欠需要ではあまりうまくいかない。何が問題なのか。

需要データの一つひとつを試みよう。表1をみてもわかるように、月ごとの受注数量は、受注件数と1件当りの受注数量（以下、量/件）で構成されていることがわかる。例えば、1月は3件の受注があった。量/件はそれぞれ、13個、13個、7個で、合計33個である。

何がどれだけ売れたかをみるのに、これまでは、日ごとの売上数量や月ごとのそれをみる。その方が分かりやすいのは確かである。しかし、そのことで重要な情報が失われていることに留意しなければならない。

どのような情報が失われるのか？ 端的に言えば、件数と量/件が持つ特有の情報である。件数と量/件は、それぞれ、時間に対し、まったく異なる特性がある。一旦、ある期間ごとの需要にまとめてしまうと、それぞれの特徴が消えてしまうのである。受注件数と量/件の特性について、さらに詳細にみる。

3.4.1 受注件数の特性

表1の月ごとの受注件数に着目する。1年間の合計受注件数は15件。12カ月で割ると1.25件/月となる。では、2カ月単位でまとめてみるとどうなるか。 $15 \div 6 = 2.5$ （件/2カ月）となる。3カ月単位では3.75件、4カ月単位では5件、となる。

つまり、集計時間が2倍、3倍となれば、その間の受注件数も2倍、3倍となる。受注件数は集計時間に比例することがわかる。事例では12組の限られたデータしかないが、この関係はデータ数を増やしてみれば、より明確に確認できる。

3.4.2 量/件の特性

月	量/件 平均		
	1カ月単位	2カ月単位	3カ月単位
1	11.0	11.0	11
2	—		
3	—		
4	—	12.0	12
5	—		
6	12.0		
7	9.3	10.0	10
8	12.0		
9	—		
10	10.0	8.8	9
11	9.3		
12	8.0		

表2 集計時間に対する量/件

量/件の特性はどうか。受注件数のように時間との関係があるのかどうか、集計時間を1カ月単位、2カ月単位、3カ月単位で量/件の平均を計算する。その結果を表2に示す。集計時間との関係はなさそうである。

受注件数と量/件の関係はどうだろうか。例示したデータだけでは、データ数も限られているため結論は出せない。ここでは、不特定多数の顧客を想定して、受注件数と量/件は互いに独立である、と仮定する。現実的・経験的には、許容しうる仮定ではないと思われる。

3.5 受注件数と量/件の分布

受注件数と量/件の度数分布は、それぞれ、図4と図5に示すようになっている。もちろん、どちらも、正規分布とはいいいがたいし、他の既知の分布形状だと言い当てるほどの根拠もない。従って、分布形状を生成するメカニズムを利用するパラメトリックなアプローチをとることはできない。利用できる特性と仮定をまとめると、

- ◆ 受注件数の母集団は変わらないとする。
- ◆ 受注件数は時間（集計時間、補充時間）に比例する。
- ◆ 量/件の母集団は変わらないとする。
- ◆ 受注件数と量/件は独立であると仮定する。

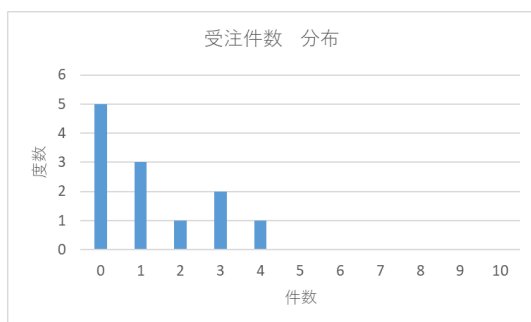


図4 受注件数の度数分布

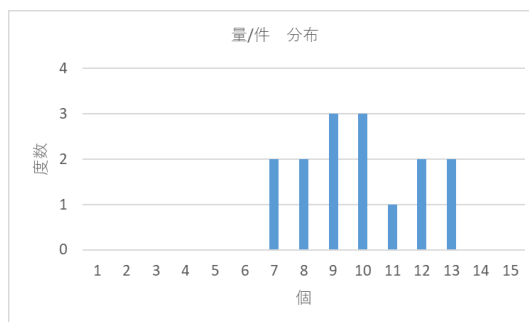


図5 量/件の度数分布

3.6 受注件数と量/件から受注数量を算出する

前項で示した条件で、受注件数と量/件のデータから、ある期間での受注数量を算出する方法について検討する。再度確認しておきたいことは、受注件数も量/件も、その母集団は変わらないと仮定してはいるが、母集団のパラメータ（平均、分散など）は一切不明であることである。使えるのは需要構造を構成する物理的メカニズムである。

需要構造を構成するメカニズムといっても、いたって単純である。注文 1 件を受け取ると、その時の注文数量は図 5 に示す分布から抜き取られる数量である。表 3 の方が分かりやすいかもしれない。表 3 は表 1 の量/件の数値をそのまま羅列したものである。この表からランダムにひとつ選ぶ、ということである。

13	13	7	12	9	10	9	12	10	10	11	8	8	7	9
----	----	---	----	---	----	---	----	----	----	----	---	---	---	---

表 3 量/件の数値列

図 4 の受注件数のグラフに戻る。受注件数がゼロであれば受注数量もゼロ。受注件数 1 回は表 3 からランダムに抜き取った数値であるから、抜取回数を多くすれば図 5 の分布に近づく。但し、抜取回数をいくら増やしても 7～13 の数値はそのままである。尚、抜取回数は 100 回/データ数として、 $15 \times 100 = 1,500$ 回とした。

では、受注件数が 2 件の場合はどうなるか。表 1 の 12 月をみると、件数が 2 件。それぞれ 7 個、9 個の注文があり、12 月の受注数量は 7 個 + 9 個 = 16 個である。これと同じメカニズムで、表 3 からランダムに 2 回抜き取り、加算し、その月の受注数量とする。件数が 3 件であれば、3 回抜き取り、それらの合計が受注数量となる。以下、同様、これを繰り返す。

実際の計算はエクセルで行った。その一例を表 4 に示す。量/件の数値は表 3 と同じ。受注件数 1 件の列は量/件の 15 の数値からランダムに抜き取った数値で、今回は 1,500 回抜き取っている。件数 2 件の列は、改めて量/件からランダムに抜き取り、その数値と 1 件の列の同じ行の数値の合計である。以下同様。

抜取回数の総計は、受注件数 1 件につき 1,500 回で、6,000 回となる。試算した結果の一例を棒グラフで図 6 に示す。

受注件数については、件数の他に、件数の発生確率を考慮しなければならない。受注件数の相対確率を求めると、

受注 0 件 0.42、受注 1 件 0.25、受注 2 件 0.08、受注 3 件 0.17、受注 4 件 0.08

である。受注件数ごとにそれぞれの相対確率を乗じて、受注数量全体の確率を1にする。その結果の一例を図7に示す。受注件数ごとの受注数量を合算して全体の受注数量の分布形状（緑線）が求まる。赤棒は受注ゼロの確率で左側の目盛、受注数量の確率は右側の目盛である。

1件目+抜取
抜取

量/件	1件	2件	3件	4件
13	7	17	26	33
13	13	21	28	40
7	12	24	31	41
12	7	16	26	39
9	10	23	36	45
10	8	19	29	39
9	8	18	25	33
12	9	16	24	32
10	13	25	34	43
10	7	15	25	35
11	11	19	28	37
8	8	17	28	40
8	10	20	27	40
7	13	21	30	40
9	9	19	27	36
	9	19	28	38
	7	19	29	36
	10	22	34	42
	13	22	35	48
	12	23	33	42
	13	22	33	46
	⋮	⋮	⋮	⋮

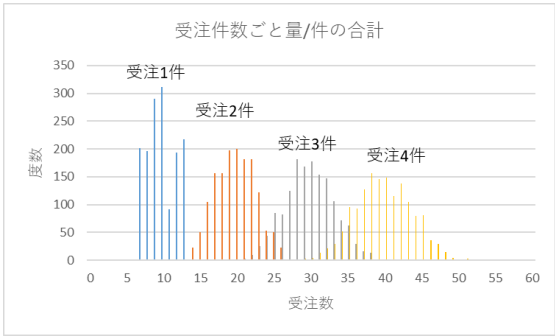


図6

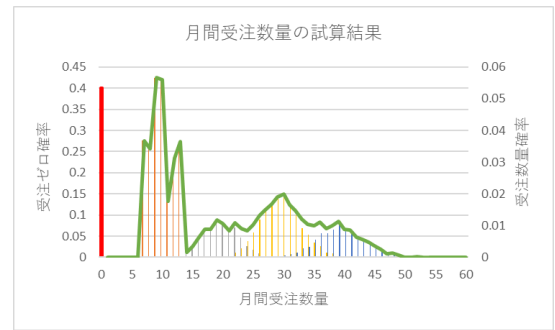


図7 受注数の分布の試算結果の一例

表4 エクセルでの計算例

サービス率に対する必要在庫数量は図8に示す受注数量に対する累積カーブから求めることができる。事例では、サービス率が80%であれば必要在庫数量は28個、90%では34個、95%では39個、99%では49個となる。分布に対する位置関係は図9に示すようになる。

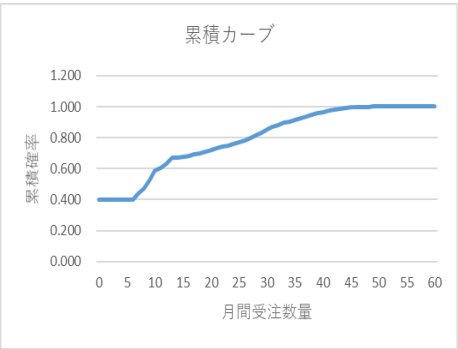


図8 累積カーブ

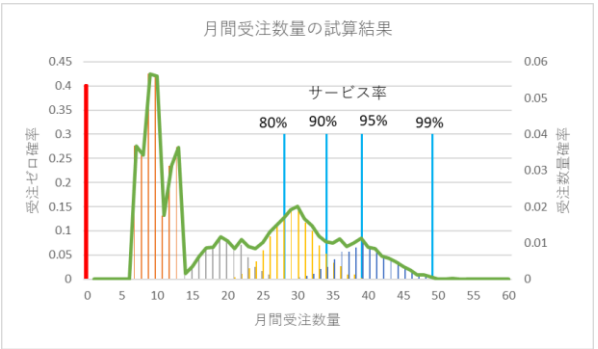


図9 サービス率に対する必要在庫数量

第4章 必要な情報は補充時間での需要分布

4.1 集計時間と補充時間との関係

在庫管理ではいつ、いくら補充発注し、いつ入庫するかが重要である。発注してから入庫までの時間を補充時間¹とすれば、その間の注文は在庫で賄わなければならない。補充時間は、供給業者や運搬距離など様々な要因が影響し、また、その発生原因の多くは外部にあり、在庫管理側でコントロールすることはほぼ不可能である。集計期間は自組織内で決められるが、補充時間は受け入れざるを得ない。

必要なのは集計時間での需要分布ではなく、補充時間での需要分布である。では、任意の補充時間での需要分布をどのようにして求めるか検討してみる。利用できる特性と仮定は、3.5 項の条件を踏襲する。

4.2 受注件数はどうなるか

実データの集計時間を 1 単位として補充時間を倍数(小数点可)で表す。補充時間に対する受注件数の分布はどのようなになるのか、計算の一例を①～⑥の順を追って示す。表 6 参照。

- ① 補充時間を整数部と小数点以下に分ける。
- ② 受注件数のデータから(表 5)ランダムに抜き取り、表 6 の整数部 1 の列に抜取回数分記入する。ここでの抜取回数はデータ数×100=1200(回)とした。

3	0	0	0	0	1	3	1	0	1	4	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

表 5 受注件数のデータ

- ③ 整数部 2 の列には、あらためて受注件数のデータからランダムに抜き取り、その値と整数部 1 の同行の数値を足した値を記入する。これを 1200 回繰り返す。
- ④ 整数部 3 の列には、あらためて受注件数のデータからランダムに抜き取り、その値と整数部 2 の同行の数値を足した値を記入する。これを 1200 回繰り返す。以下同様に、補充時間の整数部と同数の列までつくる。
- ⑤ 小数点以下については、整数部 1 の抜取データそれぞれに小数点以下の数値を乗じる。抜取順に累計してゆき、1 以上になったらその整数部を新たな受注件数値として残し、残り

¹ 実際は、補充時間=納入リードタイム+発注間隔(サイクル)+その他作業等 であるが、ここでは原理的な視点で説明しているので、補充時間=納入リードタイム としている。

の小数点以下の数値に次のデータを累計してゆく。これを繰り返す。
⑥ ④と⑤で得られたデータを加算し、指定した補充期間での受注件数の推計値とする。

補充時間が 0.5、1、2.5、5.8（集計期間基準）での受注件数の分布推計計算結果の一例を図 10 に示す。

整数部1+抜取

抜取

受注件数	補充時間 整数部				
	1	2	3	4	5
3	1	1	1	2	2
0	1	1	2	2	3
0	3	3	4	4	5
0	0	1	2	5	9
0	0	1	1	4	4
1	0	0	2	3	3
3	0	0	0	0	0
1	3	4	7	11	12
0	1	1	2	2	3
1	0	1	2	4	4
4	0	0	2	3	7
2	3	6	6	7	8
	1	1	2	4	8
	0	3	5	5	5
	4	6	6	8	8
	0	3	6	6	6
	1	2	5	8	9
	1	4	7	7	7
	0	4	4	5	6
	0	2	5	6	9
	1	4	5	6	6
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

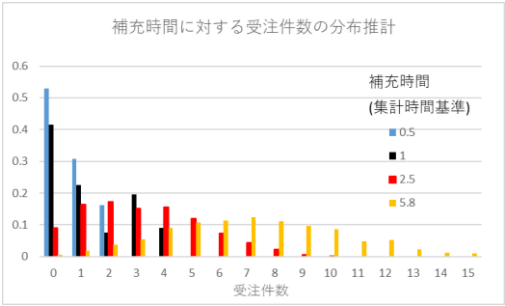


図 10 補充時間に対する受注件数の分布

表 6 計算に使ったエクセル表の一例

4.3 受注数量の計算

第 3 章で説明した方法で、それぞれの受注件数に対する受注数量算出の一例を図 11 に示す。
図 12 はサービスレベルに対する適正在庫の一例である。

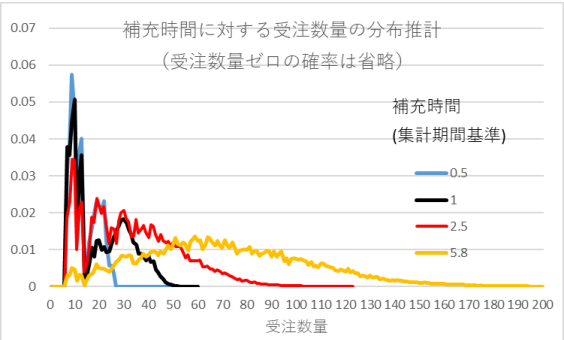


図 11 補充時間に対する受注数量の分布

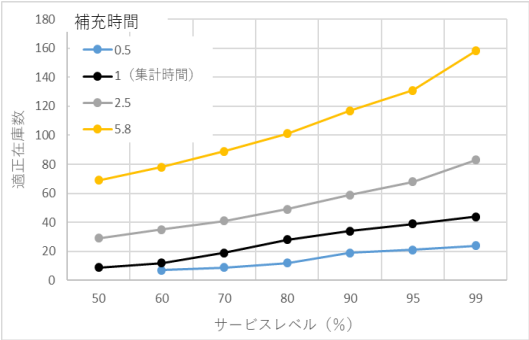


図 12 サービスレベルに対する適正在庫

第5章 補充時間の変動を考慮する

間欠需要での注文は散発的、突発的で頻度は低い。在庫補充の頻度も低くなり、納期も不安定になる。在庫補充に要する時間のバラツキは大きくなりがちである。補充時間がバラツキとその間の需要はどのような影響を受けるか、表7に示すデータを使って検討してみる。

補充順番	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目
補充日数	30	60	65	30	35	45	27	—
月数（30日/月）	1	2	2.17	1	1.17	1.5	0.90	—

表7 在庫補充に要した日数（下段は月数換算値）

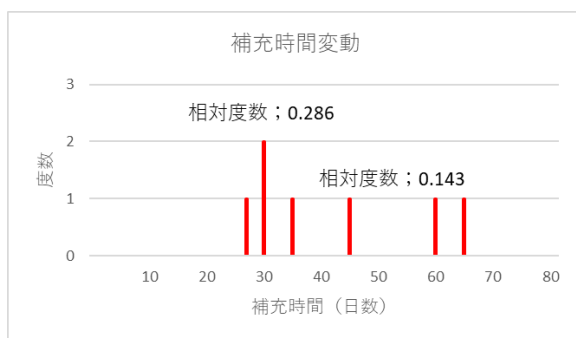
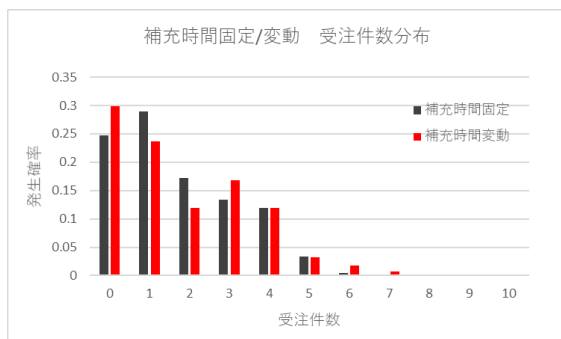


表7のデータを度数分布で表すと図13のようになる。尚、30日の相対度数は0.286、他の相対度数はすべて0.143である。

図13 在庫補充日数の度数分布

需要データはこれまでと同様表1のデータを使う。補充時間の変動の影響は、補充時間が変動しない場合と比べると分かりやすい。まず、補充時間が一定の場合の受注件数の分布を推計する。補充時間の一定値として、平均値1.39カ月を使う。計算は4.2項に示した方法である。



補充時間が変動する場合、補充時間ごと受注件数の分布を4.2項で示した方法で試算推計する。それぞれに相対度数を乗じて、合算する。補充時間が固定された場合と変動がある場合の分布との比較を図14に示す。補充時間がバラツキことで、受注件数の分布のすそ野が広がるのが確認できる。

図14 補充時間の変動有り無しでの受注件数分布比較

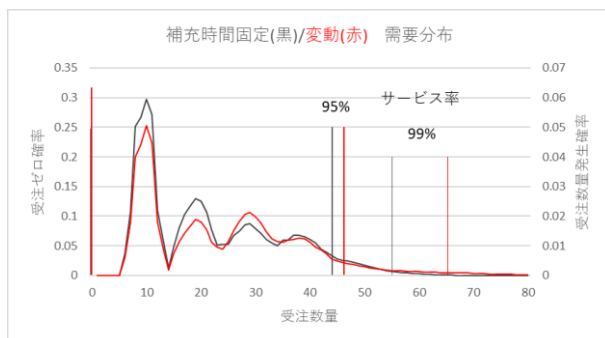


図 15 補充時間変動有り無しでの需要分布比較

補充時間が変動する場合の受注件数の分布と表 1 に示される量/件の分布で需要分布を計算すると、図 15 に示す結果となる。補充時間が変動することで需要のバラツキも大きくなることが予測されるが、その差はそれほど大きくはないようである。サービス率 95%では補充時間変動無しの必要在庫は 44 個、有のそれは 46 個であるが、サービス率が

99%ではそれぞれ 55 個と 65 個となり、差が大きくなる。

終章 まとめに換えて

本ペーパーは、分布形状のパラメータ（平均とか分散など）を一切使わないで、採取された数少ないデータのみを用いて、需要分布形状を推定し、必要在庫（適正在庫）を求める新手法を提案するものである。分布形状のパラメータが不要であるということは、いかなる分布形状でも取り扱うことができることを意味する。

もちろん、データ量が少なければ誤差は大きくなり、データの質が悪ければ結果の質も低下する。実用的にはどの程度のデータ量があればいいのか、データの質を確保するためのデータ集計方法の指針など、今後の課題としたい。

時間の経過とともにデータは蓄積され、母集団の分布も特定しやすくなる。そうなれば特定された分布のパラメータを使うことができるようになる。一旦、分布形状が特定されれば、実データは不要で、その分布のパラメータを使っでの需要分布形状の計算が比較的容易にできるようになる。

需要構造の基本要素は受注件数と量/件と補充時間の 3 つの確率変数である。単位も件数²、個数（SKU、ダース、）、時間（日、週、月、）とそれぞれ異なり、それぞれ変動し、分布形状もそれぞれ異なる。本ペーパーはこの 3 つの確率変数のいずれもが特定できない場合の適正在庫推計計算方法に言及したが、現実では、その中のひとつか二つの確率変数が特定できない場合も起こりうる。つまり、次の 3 つのケースが出てくる。

² 受注件数は受注時間間隔と集計時間の比で、物理的には無次元であるが、わかりやすくするためにつけた名称である。

- ✓ 3つの確率変数がノンパラメトリック
- ✓ ノンパラメトリックとパラメトリックが混合する
- ✓ 3つすべてがパラメトリック

パラメータを使つての需要分布形状や必要在庫の計算方法については、原理的にはほぼ出来上がっていると思われる。本ペーパーが提案するノンパラメトリック手法が、既存のパラメトリック手法と相まって、両者をシームレスカバーする在庫管理論の構築に資することを期待する。

発行；2018年10月10日

章番号誤記訂正；2019年11月22日