The Japanese Association of Management Accounting

日本管理会計学会誌
管理会計学 1997年 第5巻第1号

論　文

植物を生産品目とした最適生産計画
―鉢花の生産について―

丸山　義博*

＜論文要旨＞

1生産期間の長い植物を生産品目とし，生産計画期間を有限期間とした場合の最適生産計画問題について検討した．検討にあたり，初めに動的計画法（DP）によるモデルの定式化を行い，次にこのモデル式を事例に適用した．事例は，鉢花を生産する小農家で副品目として家族の労働力により生産しているシャコ（葉）サボテン1品目を生産する場合の最適な生産計画とした．このとき，生産費は，排反な関係にある複数の方策の間で相違する費用のみを考慮し，かつこれらの費用は生産期間中一定とした．このとき，仕上げ鉢の大きさ j（$j=4, 5, 6$）の1鉢あたりの利益 r_j（円）の想定値と実際値で相違が生じる場合にも最適な生産計画が検討できるように，利益比 A_i（$=r_{i+3}/r_6$，$i=1, 2$）を設定し，生産－出荷期間が t 期間（$1 \leqq t \leqq 3$）のときの最適方策を A_1-A_2 平面上に方策の番号で示した．検討で得られた結果は，1生産期間の長い生産品目の生産計画の検討に有用と考える．

＜キーワード＞

生産計画，植物，温室，棚面積，鉢花，動的計画法

1996年11月 受付
1997年 5月 受理
*富山県立大学短期大学部　一般教育等　助教授

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

1. はじめに

本稿は，植物を生産品目としかつ，生産品目とする植物の1生産期間が数年の期間を要しかつ多量に生産する場合の最適生産計画について，生産計画期間が有限期間の場合について検討する．

はじめに，検討する生産品目の生産量が毎期確実であるとき，生産計画全体で総利益を最大にする最適生産計画を決定する1つの方法として線形計画法がある．本稿で検討する植物の生産では，生産期間中に病害虫等による個体の損失が生じることも考えられることから，生産計画期間中，各期における生産量は不確実と考えることができる．また，生産を開始してから出荷終了までの生産期間が長期間であることから，生産計画期間中の各出荷期で生産品目の出荷価格も不確実と考えることができる．これらの事柄を考慮し，本稿では，生産計画期間全体で得られる総利益を最大にする最適生産計画の決定に，生産計画期間中の各期で最適な方策が得られる動的計画法（DP）を適用する．

次に，このモデル式を適用し，事例として鉢花を生産する園芸農家で副品目として生産しているシャコ（葉）サボテンの最適生産計画について検討する．この検討で，利益の想定値と実際値の間で相違が考えられる場合にも最適生産計画が検討できるように感度分析による結果を示す．また，この鉢花およびこの鉢花と同じ1生産期間の長い鉢花の生産計画問題の検討として，過去に，丸山 [3]，[4] で共に生産が安定状態にある場合を示した．

検討にあたり，森林管理の面から，林業経営について，最適森林間伐のモデルについてC.W.クラーク [1] および清家・小田中 [7] を，林業経営と同様に1生産期間の長い洋酒の製造工程について大井 [6] を，鉢花の栽培について横木・渡部 [10] をおのおの参考にした．さらに，千住・伏見 [8] による設備更新の経済計算，中村・山口 [5] の利益図表を活用した安全性の分析とDPの手法とその適用を扱った生田 [2]，杉山 [9] をおのおの参考にした．

2. 問題の提起と研究の目的

植物の生産は，播種，葉あるいは枝の挿木，苗木の植樹他により始まる．生産開始後，苗の生長に伴い，生産の過程で1個体当たりの占有面積を拡げるため，花卉あるいは野菜生産の場合は間引きが，鉢花の場合はより大きい鉢への植え替えが，植樹林では間伐が，おのおの行われる．その後，一定の生産期間を経て出荷可能な状態に（開花あるいは木材として使用できる）まで生長した個体は，需要期に市場あるいは業者への出荷が行われる．出荷は，生産品目により，生産開始から数年後，さらに数10年後に行われるものまであ

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

る．本稿は，出荷できる状態にまで生長した個体を対象に，最初の出荷から出荷を終了するまでの生産－出荷期間が数年に及ぶ生産品目の生産計画の検討に有用な道具の開発を目的とした検討を行う．事例として，鉢花とくに1生産期間が1～3年のシャコ（葉）サボテンに関する最適生産計画を検討する．

2.1　記号の定義

使用する記号を，以下のように定義する．

$t(1 \leqq t \leqq m)$：出荷の最初の期から出荷を終了する最後のm期までの各生産－出荷期（期）

$S_t(1 \leqq t \leqq m)$：t期に使用可能な用地面積（m^2）

$s_{t,k}(1 \leqq t, k \leqq m)$：$t$期で出荷直前の，大きさ$k$の個体1単位当たりの占有面積（$m^2$），

$0 < s_{t,1} < \cdots < s_{t,k} < \cdots < s_{t,m} < S_t$，一定

$r_{t,k}(1 \leqq t, k \leqq m)$：$t$期の出荷期に出荷した大きさ$k$の個体1単位当たりの利益（円），

$0 < r_{t,1} < \cdots < r_{t,k} < \cdots < r_{t,m}$

$x_{t,k}(1 \leqq t, k \leqq m)$：$t$期の出荷期で出荷直前の大きさが$k$の個体数（単位）

$X_{t,k}(1 \leqq t, k \leqq m)$：$t$期の出荷期における大きさ$k$の個体の出荷量（単位）

2.2　モデル式の設定

生産開始後，一定の生産期間を経て出荷できる状態にまで生長した個体について，1期からm期までの各生産－出荷期をモデル式設定の対象とし，出荷はt期末（$1 \leqq t \leqq m$）に行うとする．以下で，t期末（$1 \leqq t, k \leqq m$）に大きさがkの個体の出荷量$X_{t,k}$（利益は$r_{t,k}X_{t,k}$）と出荷を次の$t+1$期以後に持ち越す個体数$x_{t,k}-X_{t,k}$との関係，t期に大きさmの個体はt期末に全て出荷するとした場合およびm期末に全ての個体は出荷するとした場合について，DPにより定式化する．定式化にあたり，t期（$1 \leqq t \leqq m$）の個体数$x_{t,k}$（$1 \leqq k \leqq m$）を状態変数，t期末の出荷量$X_{t,k}$を決定変数とおく．

2.2.1　状態変数と決定変数

はじめに，t期（$1 \leqq t \leqq m$）の生産に使用する用地面積（大きさが1～mの個体の占有面積の和）と使用可能な用地面積S_t(m^2)との関係は（1）式で与えられるとする．

ここで，研究のモデルとする植物の生産の実態を考慮し，（1）式で等号が成り立つ場合は，生産する植物の生産期間中の損失量がゼロで，生産に使用する用地面積と使用可能な用地面積S_t(m^2) が等しい場合を示す．また，（1）式で不等号が成り立つ場合は，生産期間中に病害虫等による個体の損失で生産量が減少し，生産期間中に生産に使用する用地面

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

積が使用可能な用地面積S_tよりも少なく，使用できる用地面積に余裕ができた場合を示す．

$$s_{t,1}x_{t,1}+s_{t,2}x_{t,2}+\cdots+s_{t,m}x_{t,m}\leqq S_t \tag{1}$$

(1) 式で等号が成り立たないと考えられる植物（鉢花）の生産の例として君子蘭の生産が考えられる[4]．この鉢花は，播種から出荷終了までの生産期間が4年から6年と非常に長く，また，播種数に対するの種子の発芽率が一定でないこと，個体間で生育の遅れが出ることおよび生育年数の短い個体は開花率が低い（開花しない個体は出荷できない）ことなどにより，この鉢花の生産計画の検討において，(1) 式で等号が成り立つとは限らないと考える．

以下で検討するにあたり，ここでは，以下の3．の事例を考慮し，モデルとした植物の生産期間中の損失がゼロの場合を示す．いま，面積比$B_{t,1}, B_2, \cdots, B_m$ $(1\leqq t\leqq m)$（一定）を (2) 式のように定める．

$$B_{t,1}=S_t/s_{t,1}, B_2=s_{t,2}/s_{t,1}, \cdots, B_m=s_{t,m}/s_{t,1} \tag{2}$$

このとき，(1) 式の個体数$x_{t,1}(1\leqq t\leqq m)$は，(2) 式より，(3) 式で表すことができる．

$$x_{t,1}=B_{t,1}-B_2x_{t,2}-\cdots-B_mx_{t,m} \tag{3}$$

(3) 式は，個体数$x_{t,1}(1\leqq t\leqq m)$ が個体数$x_{t,2},\cdots,x_{t,m}$により定まることを示す．

2.2.2 モデル式

モデルの定式化にあたり，以下で時間の進行を逆向きにとる．このとき，出荷期間全体で得られる総利益の最大化を目的に決定変数$X_{t,k}(1\leqq t, k\leqq m)$の値を決定するものとする．制約条件は決定変数$X_{t,k}(1\leqq t, k\leqq m)$の取り得る値の範囲で与える．いま，1期から$t$期までの$t$期間に最大の総利益が得られるように決定変数$X_{t,k}(1\leqq t, k\leqq m)$に最適値が与えられたとする．このとき$t$期間に得られる最大の総利益は，状態変数$x_{t,1},\cdots,x_{t,m}$ $(1\leqq t\leqq m)$の関数$v(t\mid x_{t,1},\cdots,x_{t,m})$として表すことができる．さらに，(3) 式より，状態変数$x_{t,1}(1\leqq t\leqq m)$ は状態変数$x_{t,2},\cdots,x_{t,m}$の関数として表すことができることから，関数$v(t\mid x_{t,1},\cdots,x_{t,m})$は状態変数$x_{t,2},\cdots,x_{t,m}$の関数$v(t\mid x_{t,2},\cdots,x_{t,m})$として表すことができる．次に，$t$期 $(1\leqq t\leqq m)$ の出荷期に出荷を$t+1$期初めに持ち越す個体数$x_{t+1,k+1}(1\leqq t\leqq m-1)$は，大きさ$t$の個体数$x_{t,k}$と出荷量$X_{t,k}$の差$x_{t,k}-X_{t,k}$として表すことができる．以下で，$t$期間$(1\leqq t\leqq m)$に得られる総利益の最大化を目的に，$t-1$期間$(2\leqq t\leqq m)$に最大の総利益$v(t-1\mid x_{t-1,2},\cdots,x_{t-1,m})$が得られたという状況下で，$t$期間の利益が最大になるように決定変数$X_{t,k}(1\leqq t, k\leqq m)$の値を決めるものとする．

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

以下で，t期間 $(1 \leqq t \leqq m)$に得られる最大の総利益を（4）式に定める．このとき，（4）式で決定変数$X_{t,1},\cdots,X_{t,m}$の取り得る値の範囲を制約条件として（5）式に定める．

$$v(t \mid x_{t,2},\cdots,x_{t,m}) = \max_{X_{t,1},\cdots,X_{t,m}} \{ r_{t,1}X_{t,1} + r_{t,2}X_{t,2} + \cdots + r_{t,m}X_{t,m}$$
$$+ v(t-1 \mid x_{t-1,1}-X_{t-1,1}, x_{t-1,2}-X_{t-1,2}, \cdots, x_{t-1,m-1}-X_{t-1,m-1})\}, \ 2 \leqq t \leqq m \quad (4)$$

制約条件：

$$\left.\begin{array}{ll} 0 \leqq X_{t,1} \leqq x_{t,1}, & 1 \leqq t \leqq m \\ 0 \leqq X_{t,2} \leqq x_{t,2}, & 2 \leqq t \leqq m \\ \cdots\cdots & \cdots \\ 0 \leqq X_{t,m-1} \leqq x_{t,m-1}, & m-1 \leqq t \leqq m \\ 0 \leqq X_{t,m} \leqq x_{t,m}, & t = m \end{array}\right\} \quad (5)$$

ここで，t期に大きさmの個体$x_{t,m}$は全て出荷するものとする．このとき，（6）式の関係が成り立つ．

$$X_{t,m} = x_{t,m}, \ 1 \leqq t \leqq m \quad (6)$$

（6）式より，（4）式右辺の決定変数は$X_{t,1},\cdots,X_{t,m-1}$となり，このとき，（4），（5）式は（7），（8）式となる．

$$v(t \mid x_{t,2},\cdots,x_{t,m}) = \max_{X_{t,1},\cdots,X_{t,m-1}} \{ r_{t,1}X_{t,1} + \cdots + r_{t,m-1}X_{t,m-1} + r_{t,m}x_{t,m}$$
$$+ v(t-1 \mid x_{t-1,1}-X_{t-1,1}, x_{t-1,2}-X_{t-1,2}, \cdots, X_{t-1,m-1}-X_{t-1,m-1})\}, \ 2 \leqq t \leqq m \quad (7)$$

制約条件：

$$\left.\begin{array}{ll} 0 \leqq X_{t,1} \leqq x_{t,1}, & 1 \leqq t \leqq m-1 \\ \cdots\cdots & \cdots \\ 0 \leqq X_{t,m-1} \leqq x_{t,m-1}, & t = m-1 \end{array}\right\} \quad (8)$$

初期条件$v(1 \mid x_{1,1},\cdots,x_{1,m})$を定める．初期条件は最終条件として与えられる．出荷期間の最後のm期の期末に大きさ$1 \sim m$の個体数$x_{m,1},\cdots,x_{m,m}$を全て出荷する$(x_{m,1} = X_{m,1},\cdots,x_{m,m} = X_{m,m})$ことから，初期条件は，$t = 1$のとき，以下のように定めることができる．

$$v(1 \mid x_{1,1},\cdots,x_{1,m}) = r_{1,1}x_{1,1} + \cdots + r_{1,m}x_{1,m}$$

さらに，$t = 1$のとき，（2），（3）式より，$x_{1,1} = B_{1,1} - B_2x_{1,2} - \cdots - B_mx_{1,m}$を上式に代入し，（9）式を得る．

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

初期条件：

$$v\,(1\mid x_{1,2},\cdots,x_{1,m})=r_{1,1}B_{1,1}+(r_{1,2}-r_{1,1}B_2)\,x_{1,2}+\cdots+(r_{1,m}-r_{1,1}B_m)\,x_{1,m} \quad (9)$$

また，$t-1$期間（年）における最大の総利益は，(9) 式と同じ形式で，変数$x_{t-1,2},\cdots,x_{t-1,m}$の関数として，(10) 式のように表すことができるものとする．

$t-1$期間（年）における最大の総利益：

$$v\,(t-1\mid x_{t-1,2},\cdots,x_{t-1,m})=r_{t-1,1}B_{t-1,1}+(r_{t-1,2}-r_{t-1,1}B_2)\,x_{t-1,2}+\cdots+(r_{t-1,m}-r_{t-1,1}B_m)\,x_{t-1,m},\ 2\leqq t\leqq m \quad (10)$$

3. 事 例

シャコ（葉）サボテンの最適生産計画について，この鉢花の生産は，一般に挿穂の挿木から始められる．挿穂は親鉢あるいは生育期間が挿木から1年以上経過した苗から採取した茎節を用いる．また，研究のモデルとした園芸農家がこの鉢花を生産していたときの生産状況について述べる．生産期間中の生産量は少なく，また，生産期間中の病害虫による個体の損失は皆無で個体間の生育のバラツキも生じていない．このとき，この鉢花の生産に使用できる棚面積は，2.1の用地面積S_t(1≦t≦m)に置き換え，S_t(m^2)(t = 1, 2, 3)以下とする．さらに，挿木に用いる挿穂の供給，生産量と出荷量の関係および出荷価格を考慮する．このとき，2.2.2の（7）～（10）式を適用し，出荷する仕上げ鉢1鉢あたりの利益の想定値と実際値が相違する場合にも最適な生産計画が検討できるように，感度分析による検討結果を示す．

3.1 生産様式

シャコ（葉）サボテンの典型的な生産方式は，次のようになっている．

毎年2月初めに挿穂（挿木用に採取した茎節）3～5本を1組（将来，移植期に鉢に移植するときの1鉢分に相当する）にまとめ水苔に包み，栽培箱に挿木（栽培箱に寄せ植え）する．水苔に包んだ挿穂は3月中旬に第1回目の仮植（以下で第i回目の仮植を仮植i (i = 1, 2, 3) と記す）を行う．この仮植には3号鉢が用いられる．仮植1の苗の中から10月から11月までの2ヶ月間に出荷する苗は，5月中旬に4号鉢に定植する．出荷期に出荷しない苗は全てこの期日に4号鉢に仮植2を行う．仮植2の苗は翌年1月下旬から2月上旬に茎節の一部を切り取る．その後生育に伴い，1つの切り口から出た2～3本の新芽を育てることでこの鉢花をさらに大きく育てる．より大きく生育した苗は5月中旬に5号鉢に移植する．この移植は10月から11月までの2ヶ月間に出荷する場合には定植となり，出荷

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

をさらに翌年に持ち越す場合は仮植3となる．仮植2の場合と同様に，仮植3の苗は翌年1月下旬から2月上旬に茎節の1部を切り取り，その切り口から出た新芽を育てる．5月中旬には6号鉢に定植し，この年の10月から11月までの2ヶ月間に全て出荷するものとする．このとき，この鉢花の仕上げ鉢の大きさを4号から6号までとした場合の，挿穂の挿木から出荷が終了するまでの生産様式（寄せ植え）を図1に示す．

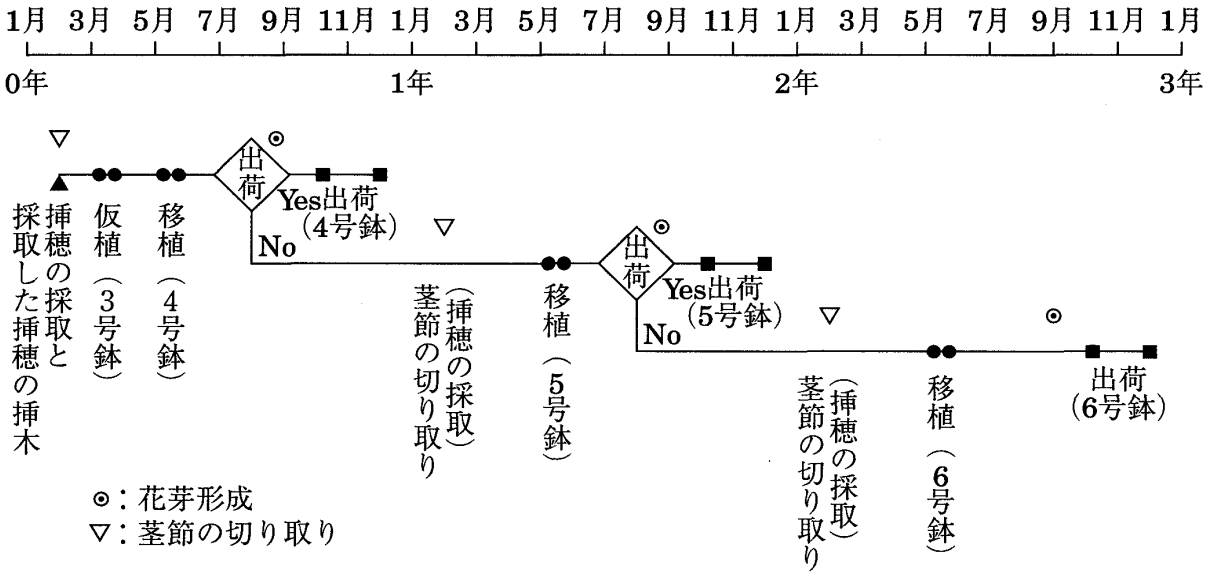

図1　シャコ（葉）サボテンの生産様式（寄せ植え）

3.2　利 益 $r_{t,j}$

3.1の生産様式で挿穂の供給には，親鉢から採取する場合と，生育が1年以上の個体から採取する場合があり，本稿では，挿穂の供給は親鉢から採取する場合とする．このとき，親鉢は生産開始前に購入し，生産が終了する3期（年）末の出荷期に全て出荷するものとする．出荷可能な4号から6号の各鉢への個体の移植は各期（年）の期首に，出荷は各期の期末に，おのおの行われるものとする．さらにこの鉢花の生育に関して，3．より，以下の場合についてこの鉢花の最適生産計画を検討する．

(1) 挿穂の挿木から出荷までの生産過程で，生産量は僅かな場合とし，個体の生育バラツキが無く，また，病害虫による個体の損失も無い場合を示す．

(2) 出荷期に出荷する個体は鉢の大きさが4号から6号に移植した個体とし，出荷する個体の品質は，全て同じ状態にあるものとする．

(3) 生産期間は1～3期（年）とし，3期末には全ての個体を出荷する．このとき，この期間中毎年同一地域で生産－出荷し，かつ需要は十分にあるものとする．

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

1鉢当たりの利益を定める．はじめに，生産に使用する温室，作業室等の生産施設と棚，温風暖房機等の設備の各償却費，生産開始時に購入した親鉢のコストと生産期間中の栽培費，出荷による収入は，以下で設定する方策の間で多少の相違が出ることも考えられるが，各方策に共通の費用と考え，おのおの検討の対象から除く．このとき，1鉢あたりの利益（円）は1鉢あたりの収入（円）と仕上げ鉢1鉢の生産に必要な費用（円）の差で与える．1鉢あたりの収入（円）は出荷価格（円／鉢）で与えるものとする．仕上げ鉢1鉢あたりの生産費（円）は，以下で設定する複数の方策の間で相違する費用のみを考慮するものとし，本稿では，用土費（円／鉢），肥料費（円／鉢），挿木用栽培箱費（円／箱），仮植用と出荷用の各鉢費の和で与えるものとしかつ，これらの費用は生産計画期間中一定とする場合を考える．挿木用栽培箱と仮植用鉢の耐用年数は共に等しくn（年）と仮定する．

j号鉢（$j=4,5,6$）への移植に必要な用土費（円／鉢）と肥料費（円／鉢）は，用土と肥料のコストc_y（円／ℓ），c_h（円／ℓ）および鉢の容量（ℓ／鉢）との積$c_y d_j$（円／鉢），$c_h d_j$（円／鉢）で与えるものとする．仕上げ鉢1鉢当たりの栽培箱の費用は，3.1の生産様式で1箱にM本の挿穂が挿木でき，m（$<M$）本の挿穂を1組として水苔に包むものとするとき，栽培箱のコストc_s（円／箱）を耐用年数n（年）と挿穂の組数（M/m）（組）で割った値で与えるものとする．仮植i（$i=1,2,3$）にj号鉢（$j=3,4,5$）を用いるときの鉢費は，鉢のコストc_j（$j=3,4,5$）（円／鉢）を耐用年数n（年）で割った値で与えるものとする．出荷用の鉢費は鉢のコストc_j（$j=4,5,6$）（円／鉢）で与えるものとする．このとき，t期（年）にj号鉢（$j=4,5,6$）に仕上げて出荷したときの利益を$r_{t,j}$（$t=1,2,3$，$j=4,5.6$）（円／鉢）とおき，（11）式のように定める．

$$
\begin{aligned}
r_{t,4} &= a_{t,4}-(c_y+c_h)d_4-c_s/(n*M/m)-c_3/n-c_4 \\
r_{t,5} &= a_{t,5}-(c_y+c_h)d_5-c_s/(n*M/m)-c_3/n-c_4/n-c_5 \\
r_{t,6} &= a_{t,6}-(c_y+c_h)d_6-c_s/(n*M/m)-c_3/n-c_4/n-c_5/n-c_6
\end{aligned}
\tag{11}
$$

t期（年）にj号鉢に移植した個体の占有面積を$s_j x_{t,j}$（$t=1,2,3$，$j=4,5,6$）（m^2／鉢）とおき，使用可能な棚面積をS_t（m^2）とおく．このとき，（1）式より，t期（年）の個体の占有面積（m^2）と棚面積S_t（m^2）との間で（12）式が成り立つとする．

$$s_4 x_{t,4}+s_5 x_{t,5}+s_6 x_{t,6} \leqq S_t,\ t=1,2,3 \tag{12}$$

このとき，（12）式に対し（3）式より，t期（年）に4号鉢に移植した個体数$x_{t,4}$は，（13）式のように表すことができる．

$$x_{t,4}=B_{t,1}-B_2 x_{t,5}-B_3 x_{t,6},\ t=1,2,3 \tag{13}$$

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

（13）式は，個体数$x_{t,4}$が2つの状態変数$x_{t,5}$，$x_{t,6}$により定めることができることを示す．さらに，（6）式より，変数$x_{t,6}$，$X_{t,6}$の間で（14）式の関係が成り立つ．

$$x_{t,6}=X_{t,6}\ ,\ t=1,2,3 \tag{14}$$

3.3　t期間に得られる最大の総利益v（t | $x_{t,5}$, $x_{t,6}$）

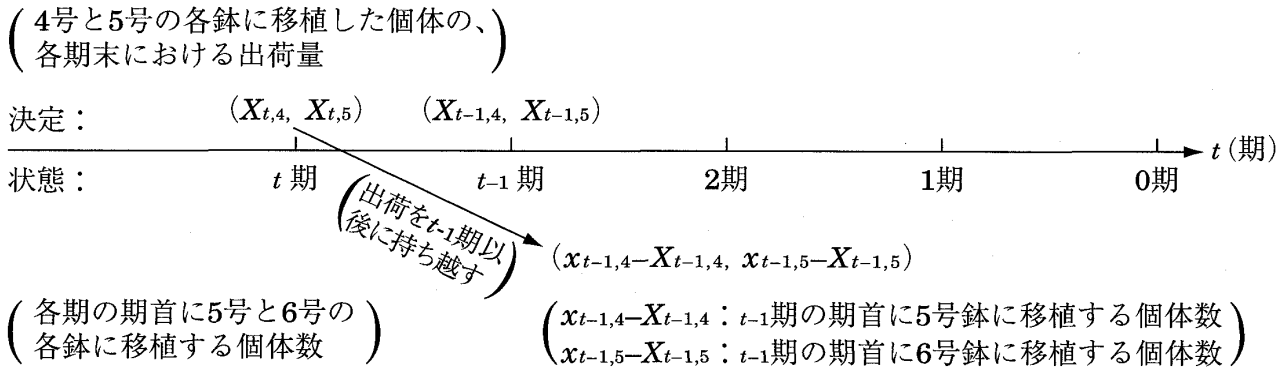

図2　生産－出荷の状態

2.2.2のモデル式をこの鉢花の最適生産計画に適用する．このとき，この鉢花の生産計画期間中の生産と出荷の状況を図2に示し，生産の開始から終了までの全生産期間に得られる総利益の最大化を目的に，（7）～（10）式を適用し，決定変数$X_{t,j}$（$t=1,2,3,\ j=4,5,6$）の値を決定するものとする．このとき，制約条件は決定変数$X_{t,j}$（$t=1,2,3,\ j=4,5,6$）の取り得る値の範囲で与える．ここで，この鉢花の最適生産計画を与える最適条件を平面上に示すため，（11）式の利益$r_{t,j}$（$t=1,2,3,\ j=4,5,6$）（円/鉢）に対し，t期（年）の利益比$A_{t,i}$（$t,i=1,2,3$）を（15）式のように定める．

$$A_{t,i}=r_{t,i+3}/r_{t,6}\ (0<A_{t,i}\leqq 1,\ t,i=1,2,3), \tag{15}$$

（15）式で，$i=3$のときの利益比は，$A_{t,3}=1.0$．いま，（7）式で利益$r_{t,k}$（$1\leqq t,k\leqq m$）を，（11）式の利益$r_{t,j}$（$t=1,2,3,\ j=4,5,6$）を適用し以下のように定める．

$$v\ (t\mid x_{t,5},x_{t,6})=\max_{X_{t,4},X_{t,5}}\ \{r_{t,4}X_{t,4}+r_{t,5}X_{t,5}+r_{t,6}x_{t,6}+v\ (t-1\mid x_{t-1,4}-X_{t-1,4},x_{t-1,5}-X_{t-1,5})\}$$

さらに，上式の利益$r_{t,j}$（$t=1,2,3,\ j=4,5,6$）は，（15）式の利益比$A_{t,i}$（$t,i=1,2,3$）を適用し，（$i=3$のときの利益比は$A_{t,3}=1.0$より）（16）式のように定める．こ

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

のとき，(8) 式の制約条件は，図1の栽培様式の下で，(17) 式となる．

$$v(t \mid x_{t,5}, x_{t,6}) = \max_{X_{t,4}, X_{t,5}} \{A_{t,1}X_{t,4} + A_{t,2}X_{t,5} + x_{t,6} + v(t-1 \mid x_{t-1,4} - X_{t-1,4}, x_{t-1,5} - X_{t-1,5})\} \quad (16)$$

制約条件：

$$\begin{aligned} &0 \leqq X_{1,j} \leqq x_{1,j}, \ j=4 \\ &0 \leqq X_{2,j} \leqq x_{2,j}, \ j=4,\ 5 \\ &0 \leqq X_{3,j} \leqq x_{3,j}, \ j=4,\ 5,\ 6 \end{aligned} \quad (17)$$

(16) 式について，右辺｛ ｝内の式は，第4項の $t-1$ 期間（年）（$t=2, 3$）で得られた最大の総利益（一定）と t 期（年）（$t=1, 2, 3$）に得られる利益の和を表す．

次に，(9) 式の初期条件 $v(1 \mid x_{1,5}, x_{1,6})$ についても，(15) 式の利益比 $A_{1,i}$（$i=1, 2, 3$）を適用する．いま，生産－出荷期間の最後の3期（年）初めに4号～6号の各大きさの鉢に移植した個体数 $x_{1,4}, \cdots, x_{1,6}$ は，3期（年）末に全て出荷する（$X_{1,j} = x_{1,j}, j=4, 5, 6$）ことから，(9) 式で利益 $r_{1,t}$（$1 \leqq t \leqq m$）は $r_{1,j}$（$j=4, 5, 6$）となる．このとき，(9) 式の初期条件は以下のように定める．

$$v(1 \mid x_{1,5}, x_{1,6}) = r_{1,4}x_{1,4} + r_{1,5}x_{1,5} + r_{1,6}x_{1,6}$$

上式は，さらに，利益 $r_{1,j}$（$j=4, 5, 6$）を (15) 式の利益比 $A_{1,i}$（$i=1, 2, 3$）を適用し，以下のように定める．

$$v(1 \mid x_{1,5}, x_{1,6}) = A_{1,1}x_{1,4} + A_{1,2}x_{1,5} + A_{1,3}x_{1,6}$$

いま，(13) 式で $t=1$ のときは $x_{1,4} = B_{1,1} - B_2 x_{1,5} - B_3 x_{1,6}$ で，また，(15) 式で $A_{1,3} = 1.0$ より，上式の初期条件は (18) 式のように定めることができる．

初期条件：

$$v(1 \mid x_{1,5}, x_{1,6}) = A_{1,1}B_{1,1} + (A_{1,2} - A_{1,1}B_2)x_{1,5} + (1 - A_{1,1}B_3)x_{1,6} \quad (18)$$

同様に考えて，(10) 式の $t-1$ 期間（年）における最大の総利益は，(15) 式の利益比 $A_{1,i}$（$i=1, 2, 3$）を適用し，(19) 式のように定めることができる．

$t-1$ 期間（年）における最大の総利益：

$$v(t-1 \mid x_{t-1,5}, x_{t-1,6}) = A_{t-1,1}B_{t-1,1} + (A_{t-2,2} - A_{t-1,1}B_2)x_{t-1,5} + (1 - A_{t-1,1}B_3)x_{t-1,6}, \ t=2, 3 \quad (19)$$

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

3.4　t期間で得られる最大の総利益v（$t \mid x_5, x_6$）

生産期間が1～3期（年）と短いことを考慮し，(16) 式の利益比$A_{t,i}$（$t=1,2,3,\ i=1,2$）は，利益$r_{t,j}$（$t=1,2,3,\ j=4,5,6$）が$t=1,2,3$の各期（年）で相違することも考えられるが，ここでは$t=1,2,3$の各期（年）で等しい値をとる場合とする．また，t期に4号鉢に移植した個体数は，t～$t+2$期の3期間で全て出荷することから，ここでは，個体数$x_{t,4}$を資源と考え，この資源を利益が最大になるように配分（出荷）すると考える．このとき，棚面積S_t（$t=1,2,3$）は，$t=1,2,3$の各期（年）で棚面積S（m²）を使用する場合とする．

$$A_{t,i}=A_i,\ S_t=S,\ t=1,2,3,\ i=1,2 \tag{20}$$

(20) 式より，(2) 式の$B_{t,1}(1 \leqq t \leqq m)$は$B_1$（一定）となる．さらに個体数$x_{t,4}$（$t=1,2,3$）は$t$～$t+2$の各出荷期におのおの出荷する（このときの各出荷期の出荷量は$X_{t,4}, X_{t+1,5}, X_{t+2,6}$）．このとき，(20) 式で使用できる棚面積が各期（年）で等しくS(m²)を使用し生産するとき，t期の個体数$x_{t,4}(t=1,2,3)$はx_4に，出荷量$X_{t,j}(j=4,5,6)$は$X_j(j=4,5,6)$とおのおの表すことができる．このとき，出荷期に出荷する個体数$X_j(j=4,5,6)$と出荷を次期（年）以後に持ち越す個体数$x_j-X_j(j=4,5,6)$および (14) 式について，おのおの (21) 式の関係が成り立つとする．

$$x_{j+1}=x_j-X_j\ ,j=4,5$$
$$X_6=x_6 \tag{21}$$

また，(13) 式は，個体数$x_{t,4}$をx_4に置き換えて，(22) 式で表すことができる．

$$x_4=B_1-B_2x_5-B_3x_6 \tag{22}$$

このとき，(20)～(22) 式より，(16)～(19) 式は (23)～(26) 式のように定めることができる．

$$v\ (t \mid x_5,\ x_6)=\max_{X_4,\ X_5}\{A_1X_4+A_2X_5+x_6+v\ (t-1 \mid x_4-X_4,\ x_5-X_5)\},\ t=2,3 \tag{23}$$

制約条件：

$$0 \leqq X_j \leqq x_j,\ j=4,5 \tag{24}$$

初期条件：

$$v\ (1 \mid x_5,\ x_6)=A_1B_1+(A_2-A_1B_2)\ x_5+(1-A_1B_3)\ x_6 \tag{25}$$

$t-1$期間における総利益の最大値：

$$v\ (t-1 \mid x_5,\ x_6)=A_1B_1+(A_2-A_1B_2)\ x_5+(1-A_1B_3)\ x_6,\ t=2,3 \tag{26}$$

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

3.5 数 値 例

はじめに，以下で適用する数値を表1に定める．表1より，面積比はB_1 = 1,818.1818, B_2 = 2.5018, B_3 = 3.4291となる．次に，利益比をA_1 = 0.25, A_2 = 0.70と設定した場合に，生産期間を3年としたとき，t年（t = 2, 3）における最適方策とこのときの総利益$v(t \mid x_5, x_6)$を以下に示す．

（イ）t = 1のときは初期条件として与えられることから，(25)式より，(27)式を得る．

$$v(1 \mid x_5, x_6) = A_1x_4 + A_2x_5 + x_6 \ (= A_1B_1 + (A_2 - A_1B_2)\,x_5 + (1 - A_1B_3)\,x_6)$$
$$= 454.5455 + 0.0746\,x_5 + 0.1427\,x_6 \qquad (27)$$

表1 モデルに適用する数値

S：50	s_6：0.0943	c_s：450	c_5：28	d_5：1.5	m：4
s_4：0.0275	c_y：9.0152	c_3：2.90	c_6：42	d_6：2.5	n：3
s_5：0.0688	c_h：3.5764	c_4：20	d_4：0.7	M：160	

S：使用棚面積(m²), s_j（j = 4, 5, 6）：j号鉢に移植した個体の使用棚面積(m²/鉢), c_y：用土費(円/ℓ), c_h：肥料費(円/ℓ), c_s：挿木用栽培箱のコスト(円/箱), c_j（j = 3, 4, 5, 6）：j号鉢のコスト(円/鉢), d_j（j = 4, 5, 6）：j号鉢の容量(ℓ/鉢), M：挿穂の挿木数(本/箱), m：仕上げ鉢1鉢分の挿穂の本数（本）, n：挿木用栽培箱と仮植用鉢の耐用年数（年）

（ロ）t = 2のとき，総利益の最大値$v(2 \mid x_5, x_6)$は，(23)式より，(28)式のように表すことができる．

$$v(2 \mid x_5, x_6) = \max_{X_4, X_5} \{A_1X_4 + A_2X_5 + x_6 + v(1 \mid x_4 - X_4, x_5 - X_5)\} \qquad (28)$$

2年目初めに移植した個体数x_5，x_6は，1年目末の出荷期で出荷を次期に持ち越した個体数$x_4 - X_4$，$x_5 - X_5$に等しいことから，上式右辺の利益$v(1 \mid x_4 - X_4, x_5 - X_5)$は以下となる．

$$v(1 \mid x_4 - X_4, x_5 - X_5) = 454.5455 + 0.0746\,(x_4 - X_4) + 0.1427\,(x_5 - X_5)$$

さらに，状態変数x_4は，(22)式より，$x_4 = 1{,}818.1818 - 2.5018\,x_5 - 3.4291\,x_6$となる．このとき，(28)式は(29)式のように表すことができる．

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

$$v(2 \mid x_5, x_6) = \max_{X_4, X_5} \{(A_1 - 0.0746)X_4 + (A_2 - 0.1427)X_5 + 590.1819 - 0.0439x_5 + 0.7442x_6\}$$

$$= \max_{X_4, X_5} (0.1754X_4 + 0.5573X_5 + 590.1819 - 0.0439x_5 + 0.7442x_6) \qquad (29)$$

(29) 式右辺の（　）の中は決定変数 X_4, X_5 に関する1次式を表し，いまこの1次式を R とおく．このとき，R は決定変数 X_4, X_5 の係数が正より，以下で R を最大にする決定変数 X_4, X_5 の値について考える．

決定変数 X_4 の上限値は S/s_4 であり決定変数 X_5 の上限値は S/s_5（$< S/s_4$）より，いま，1次式 R の定義域を $S/s_5 \leqq X \leqq S/s_4$ とする決定変数 X を考える．このとき，決定変数 X の値が S/s_4（あるいは S/s_5）のとき，この場合は4号鉢（あるいは5号鉢）にのみ仕上げて出荷するときの出荷量を表す．さらに，決定変数 X が $S/s_5 < X < S/s_4$ の範囲内の値をとるとき，決定変数 X は仕上げ鉢の大きさを4号と5号としたときの出荷量を表す．上述で，R は1次式より，決定変数 X（$0 < S/s_5 \leqq X \leqq S/s_4$）の値が増加する（あるいは減少する）とき R の値は単調に増加するかあるいは単調に減少するかのいずれかである．決定変数 X（$0 < S/s_5 \leqq X \leqq S/s_4$）の値の増減に対し常に R の値が一定の場合，このときの R の値は仕上げ鉢の大きさを4号のみかあるいは5号のみとした場合と同じ値である．それゆえ，ここでは R の最大値は決定変数 X の取り得る値の端点（S/s_5 かあるいは S/s_4）で考える．このとき，(29) 式で決定変数 X_4, X_5 の係数は共に正．それゆえ，最大の総利益を得るため，(29) 式の X_4 に x_4（$= S/s_4 = 1{,}818.1818$），X_5 に x_5（$= S/s_5 = 726.7442$）をおのおの与え，$0.1754X_4$ と $0.5573X_5$ の大小を比較する．

(A)：$0.1754X_4 = 318.9091$

(B)：$0.5573X_5 = 405.0145$

このとき，(A) ＜ (B) より，(29) 式で決定変数が $X_4 = 0$, $X_5 = x_5$ のとき総利益は最大になる．このとき，2年目の最適方策と2年間の総利益の最大値は以下となる．

2年目の最適方策：$X_4 = 0$, $X_5 = x_5$, $X_6 = 0$

2年間の総利益の最大値：$v(1 \mid x_5, x_6) = 590.1819 + 0.5134x_5 + 0.7442x_6$

（ハ）$t = 3$ のとき，同様にして，総利益の最大値 $v(3 \mid x_4 - X_4, x_5 - X_5)$ は (30) 式で表すことができる．

$$v(3 \mid x_5, x_6) = \max_{X_4, X_5} \{A_1X_4 + A_2X_5 + x_6 + v(2 \mid x_4 - X_4, x_5 - X_5)\}$$

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

$$= \max_{X_4, X_5} \{ (A_1 - 0.5134) X_4 + (A_2 - 0.7442) X_5 + x_6 + 590.1819 + 0.5134 x_4 + 0.7442 x_5 \}$$

$$= \max_{X_4, X_5} (-0.2634 X_4 - 0.0442 X_5 + 1{,}523.6364 - 0.9559 x_5 - 0.7605 x_6) \qquad (30)$$

(30) 式で決定変数が$X_4 = 0$, $X_5 = 0$のとき総利益は最大になる．この場合，時間の向きを逆向きとしたことから，初年度の最適方策と3年間の総利益の最大値は以下となる．

初年度の最適方策：$X_4 = 0$, $X_5 = 0$, $X_6 = x_6$

3年間の総利益の最大値：$v(3 \mid x_5, x_6) = 1{,}523.6364 - 0.9559 x_5 - 0.7605 x_6$

3.6 $A_1 - A_2$平面

生産期間がt年に対し，計画期間中の各生産期間における利益比A_i ($i = 1, 2$) の実現値がわからない場合にも最適な生産計画が検討できるように，あらかじめ各年毎の利益比A_i ($0 < A_i \leqq 1.0$) の値を (23) 式に与え，利益比A_iに対する最適方策を求めることができる道具を導き出す．はじめに，以下で利益比A_i ($i = 1, 2$) が与えられたとき，生産計画期間全体で得られる総利益を最大にする最適方策を設定する．最適方策の設定は，3.5の数値例をもとに設定する．いま，3.5の数値例で生産期間tが$t = 2$ (年)，$t = 3$ (年) のときの利益式 (29)，(30) 式で，最大の総利益を与える最適方策は，決定変数X_4，X_5の係数の正負に関して得られることを示した．このとき，3.5の数値例で示した最適方策の決定と同じ考え方を適用したときの最適方策とその方策が得られる条件を表2にまとめる．このとき，利益比A_i ($i = 1, 2$) が与えられたとき，t年間で総利益を最大にする最適方策とこのときの決定変数X_j ($j = 4, 5$) の値を表2を適用し決定する．結果は，生産期間t (年) について，$A_1 - A_2$平面上の点 (A_1, A_2) の上に最適方策を表す方策の番号を打点するとした．このとき，生産期間が2年 ($t = 2$) と3年 ($t = 3$) の場合について，ワークステーション*SUN* 4/10で処理した結果を図3に示す．

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

表2　挿穂の採集方法を親鉢とした場合の方策

方策	出荷量X_4，X_5の係数の正負	出荷量（X_4，X_5，X_6）
1	X_4の係数が正でかつ，X_5の係数が負のとき，あるいはX_4，X_5の係数が共に正で，X_4の係数とX_4の積がX_5の係数とX_5の積より大のとき	$X_4=x_4$，$X_5=0$，$X_6=0$
2	X_4の係数が負でかつ，X_5の係数が正のとき，あるいはX_4，X_5の係数が共に正で，X_4の係数とX_4の積がX_5の係数とX_5の積より小のとき	$X_4=0$，$X_5=x_5$，$X_6=0$
3	X_4とX_5の係数が共に負またはゼロのとき	$X_4=0$，$X_5=0$，$X_6=x_6$

3.7　最適生産計画

参考農家について，この鉢花の生産量は少量で4号鉢と5号鉢に仕上げ，鉢花をこの農家の温室に買い求めに来る個人および富山市内の小売店に販売していた．また，富山県内の鉢花生産者の鉢花の主な出荷先として隣県の金沢市内の市場がある．金沢市内の市場の昭和55年の手紙による昭和54年のこの鉢花の入荷状況についての調査による回答から，10月と11月の各月に入荷した鉢の大きさについて，10月は4.5号と5号，11月は4.5号，5号，6号であった．ここでは，金沢市内の市場の入荷状況をもとに，この市場にこの鉢花を出荷する場合の最適生産計画を求める．このとき，仕上げ鉢の大きさとその出荷価格に対し，ここでは4.5号と4号は同じ価格で取引されたと仮定し，かつ11月の市場価格について表1の数値を適用し利益比A_i（$i=1, 2$）を求め，$A_1=0.7117$，$A_2=0.7858$を得る．このとき，図3で$t=2, 3$のときのA_1-A_2平面で共に点（0.7117，0.7858）上の番号を1と読み取るとき，表2より，総利益を最大にする最適方策は共に1となる．それゆえ，この鉢花の最適生産計画は，生産－出荷期間の初年度末および2年度末の出荷を，共に4号鉢仕上げはx_4（鉢），5号鉢仕上げと6号鉢仕上げは共に0（鉢）とし，3年目末には全て出荷することとなる．

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

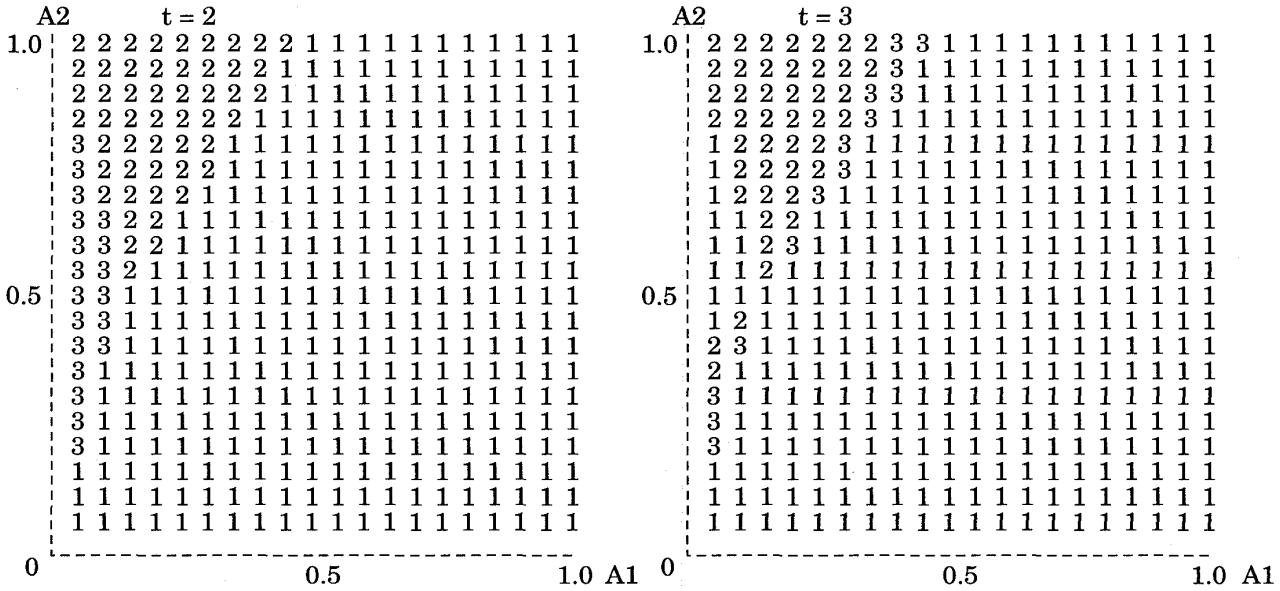

図3　A_1-A_2平面（$t=2, 3$の場合）

4. まとめ

本稿は，1生産期間が長くかつ多量に生産する植物の最適生産計画について検討した．1生産期間が長いことから，検討にあたり，1単位当たりの利益（円）の想定値と実現値の間で相違が生じることおよび生産計画期間中，生産に使用できる用地面積の広さに増減が出ることも考慮し，問題の定式化にDPを適用した．次に，このモデル式を適用し，事例としてシャコ（葉）サボテン1品目の最適生産計画について検討した．検討にあたり，生産期間中の挿穂は親鉢から供給するとした．また，仕上げ鉢の大きさを4号～6号とし，このとき排反な関係にある3つの方策を設定した．検討は，この鉢花の最適生産計画の検討が容易にできるように，利益r_j（円/鉢）（$j=4, 5, 6$）に対し利益比A_i（$=r_{i+3}/r_6$, $i=1, 2$），を設定し，A_1-A_2平面に最適方策を表す方策の番号で示した．検討結果は，利益比A_i（$i=1, 2$）が想定値と実際値で相違する場合にも最適な生産計画を立てるときの道具として有用と考える．

最後に，本稿で示したモデル式とこのモデル式を適用した事例は，水産業（養殖漁業，養殖牡蛎，養殖海苔他），洋酒の生産計画他さらに1生産期間が数10年に及ぶ林業経営（植樹から木材として切り出すまでの期間の長さの決定）の検討にも応用できると考える．

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

参考文献

[1] Colin W.CLark, Mathematical Bioecnomics: The Optimal Management of Renewable Resources, John Wiley and Sons, 1976；竹内啓・柳田英二訳『生物経済学－生きた資源の最適管理の数理』, 啓明社, 1983年

[2] 生田誠三,「逐次選択過程の理論構成とその応用」, ｵﾍﾟﾚｰｼｮﾝｽﾞ・ﾘｻｰﾁ,Vol.22, No.3, 日科技連, pp.164-173, 1977年.

[3] 丸山義博,「鉢花の生産について（第1報）」,日本経営工学会誌, Vol.32, No.2, pp.100 -103, 1981年.

[4] 丸山義博,「経済性の観点からみた君子蘭の生産計画について」, 日本管理会計学会誌, Vol.4, No.1, pp.3-20, 1996年.

[5] 中村善太郎・山口俊和,「代替的な生産方策の収益性に関する感度分析」, 日本経営工学会誌, Vol.35, No.3, pp.174-179, 1984年.

[6] 大井一郎,『貴腐ワイン誕生す』, 東洋経済新報社, 1986年.

[7] 清家　正・小田中敏男,「DPの林業への応用－間伐量の決定の一考察－」, 経営科学, 第2巻, 第3, 4号, 1958年.

[8] 千住鎮雄・伏見多美雄,『設備投資計画法』, 日科技連, 1974年.

[9] 杉山昌平,『動的計画法』, 日科技連, 1976年.

[10] 横木清太郎・渡部弘,『実験花卉栽培と経営』, 養賢堂, 1976年.

謝　辞

本稿の作成にあたり，レフェリー委員から種々の貴重なコメントを頂きました．ここに記して感謝の意を表します．

NII-Electronic Library Service

The Japanese Association of Management Accounting

The Journal of Management Accounting, Japan
Vol. 5, No. 1 1997

Optimization of Production Planning for Production of Potted Flowers

Yoshihiro Maruyama *

Abstract

The present study, involving the production of potted flowers, was undertaken to determine the conditions for the optimization of the production planning, where the planned production periods were assumed to be definite. The analysis technique used was that of DP (dynamic programming).

In this study, positing several alternative plans mutually exclusive in terms of the types of the plant cuttings and the sizes of the finishing flowerpots, I examined the constraints on available pot bench capacity and the rations of per-pot profits for pairs of different-sized pots (i.e. $A_1 = r_4 / r_6$ and $A_2 = r_5 / r_6$, where r_j stands for the profit for a pot of a certain size ($j = 4$, 5 or 6). However, I confined the analysis to the cases where the assumed profit values and the realized values differed. As for production costs, I considered them only where they differed between the alternative plans. Furthermore, based on the analysis, I identified three alternative plans which were optimal for the respective pot sizes and potted their plan numbers on a $A_1 - A_2$ plane, where $1 = t = 3$ (t stands for production periods).

The model formula used for the analysis is considered to be useful for the evaluation of production planning where the available bench capacities and the profit rations A_1 and A_2 vary during the production periods.

Key Words

Production Planning, Plant, Greenhouse, Bench capacity,
Potted flowers, Dynamic Programming.

Submitted November 1996.
Accepted May 1997.
*Associate Professor, Department of Liberal Arts, College of Technology, Toyama Prefectural University.

NII-Electronic Library Service