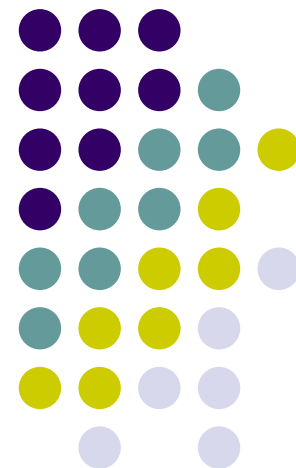


ビニールハウス栽培品種 組合せスケジューリング問題 に関する研究

沼田研究室
5303069 西田 望



1. はじめに

1.1 研究背景



花卉苗栽培農業を営むA農園が抱える問題

既設のビニールハウスを十分に利用できていない

- ・過疎化や高齢化
- ・経験や勘に頼る栽培計画

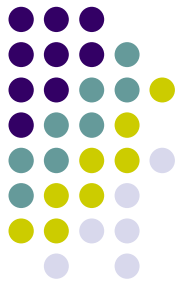


数理計画を用いた栽培計画の立案方法

(1) 利益率の高い品種を選択

(2) 播種時期の上手い選択

(労働力の分散・ビニールハウスの有効利用)



1.2 A農園の苗栽培の現状

- 品種：1年草花(約20種)
- 量：春苗, 秋苗(約50万鉢)
- 環境：ビニールハウス(10棟)
- 面積：40a (1アール=100m²)
* 通路を除いた床一面(30a)を使用



図1: 栽培工程

1.3 ビニールハウスの使用状況と労働力の稼働状況

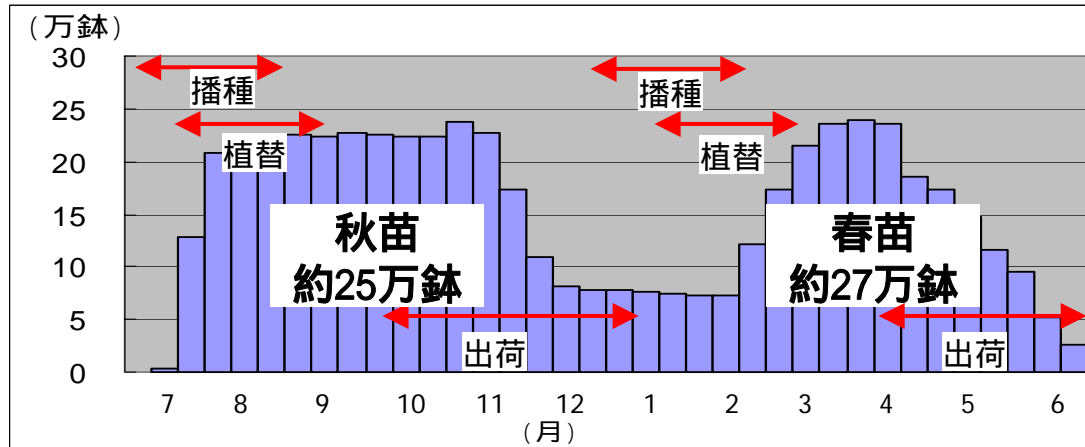
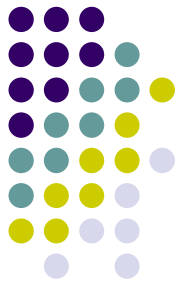


図2: ビニールハウスの使用状況

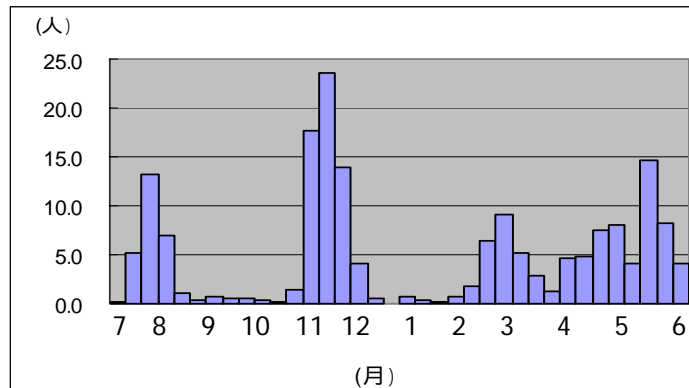


図3: 労働力の稼働状況

- ・繁忙期の集中化
- ・ビニールハウス使用の無駄

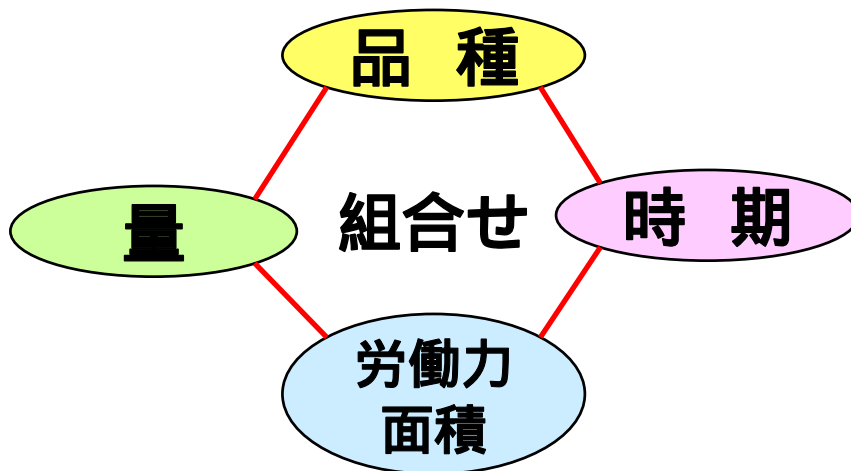


花卉苗の播種可能時期には幅がある
播種時期をずらすことで改善できる



1.4 本研究の目的

労働力とビニールハウス面積が限られている状況で栽培品種と栽培量と播種時期を組合せ、総利益を最大化するようなスケジューリング問題(以下PGSP:Plastic Green-house Scheduling Problemと略す)を考える。



PGSPを提起後、制約を緩和し、線形計画問題として定式化する。

の定式化をソルバーへの入力ファイルとして出力するシステムをExcelのVBAで作成する。

提案した線形計画モデルを解いて栽培計画を作成し、その有用性を確認する。

2. 問題設定

～ 問題整理と目的関数 ～



問題整理

A 農園で使用できるビニールハウス面積 (30a) と労働力 (10人) は変更しない.

7月から6月までの1年間の栽培計画を作成する.

(栽培品種は1年以内に全生育期間を終える1年草花とする.)

目的関数

各栽培品種の千鉢あたりの利益と栽培量を掛け合わせたものの総和を総利益とし, この総利益を最大化する.

2. 問題設定 ～ 前提条件と栽培条件 ～



前提条件 (PGSPを扱う上での前提)

利益は売値から費用を引いたものとする。費用 = 種代
水, ビニール, 人件費, などは固定費として考え今回は費用に加えない。

1ヵ月を上旬, 中旬, 下旬に3分割し, 10日を1旬, 1年を
36旬と考える。

出荷期間は, 栽培品種・量に関わらず30日(3旬)とする。

栽培条件 (A農園の経営状況による条件)

1度に置ける鉢数は**30万鉢 (約30a) 以下**

1旬の労働力は**10人以下**

ただし播種, 植替え, 出荷に必要な労働力だけを考える。

1品種の播種量は, **千鉢単位で3万鉢以下**



3. 記号の定義

- PGSPで用いる記号を以下のように定義する。

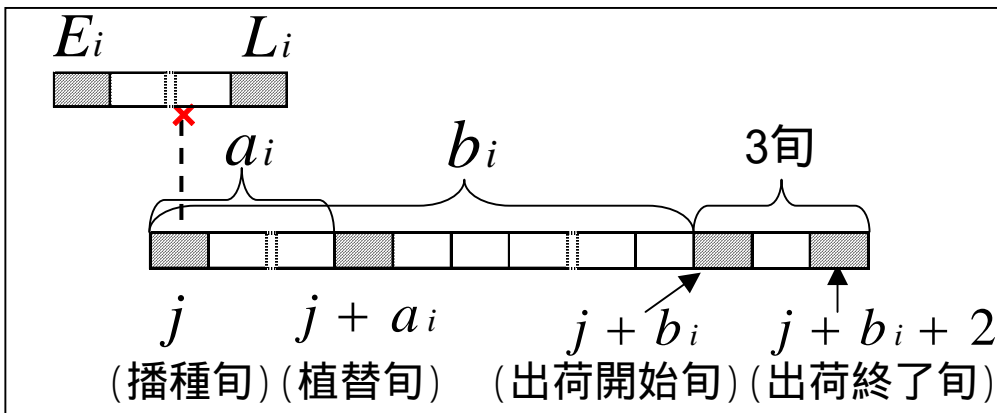


図4 記号の定義

播種: 40cm × 70cmのトレイ (約500粒)

発芽旬数 (a_i)

植替: 直径9cmのポットへ1本ずつ

植替よりビニールハウスを利用

- i : 栽培品種 ($i = 1, 2, \dots, I$)
- E_i : 第 i 品種の最早播種旬
- L_i : 第 i 品種の最遅播種旬
- j : 播種旬 ($E_i \leq j \leq L_i$)
- a_i : 第 i 品種が要する発芽旬数
- b_i : 第 i 品種が要する育成旬数
- $j + a_i$: 植替旬
- $j + b_i$: 出荷開始旬
- $j + b_i + 2$: 出荷終了旬
- ($0 \leq j + b_i + 2 \leq 36$)



3. 記号の定義

- 決定変数

X_{ij} : 第 i 品種を第 j 旬に播種する数量 (× 千鉢)
 $E_i \leq j \leq L_i$ で定義

- 係数

R_i : 第 i 品種, 千鉢あたりの利益

f_{ijk} : 第 i 品種を第 j 旬に播いた時,
第 k 旬に占める千鉢あたりの必要面積 (a)

g_{ijk} : 第 i 品種を第 j 旬に播いた時,
第 k 旬に要求する千鉢あたりの労働力 (人)

3. 記号の定義

～ 必要面積・必要労働力 ～

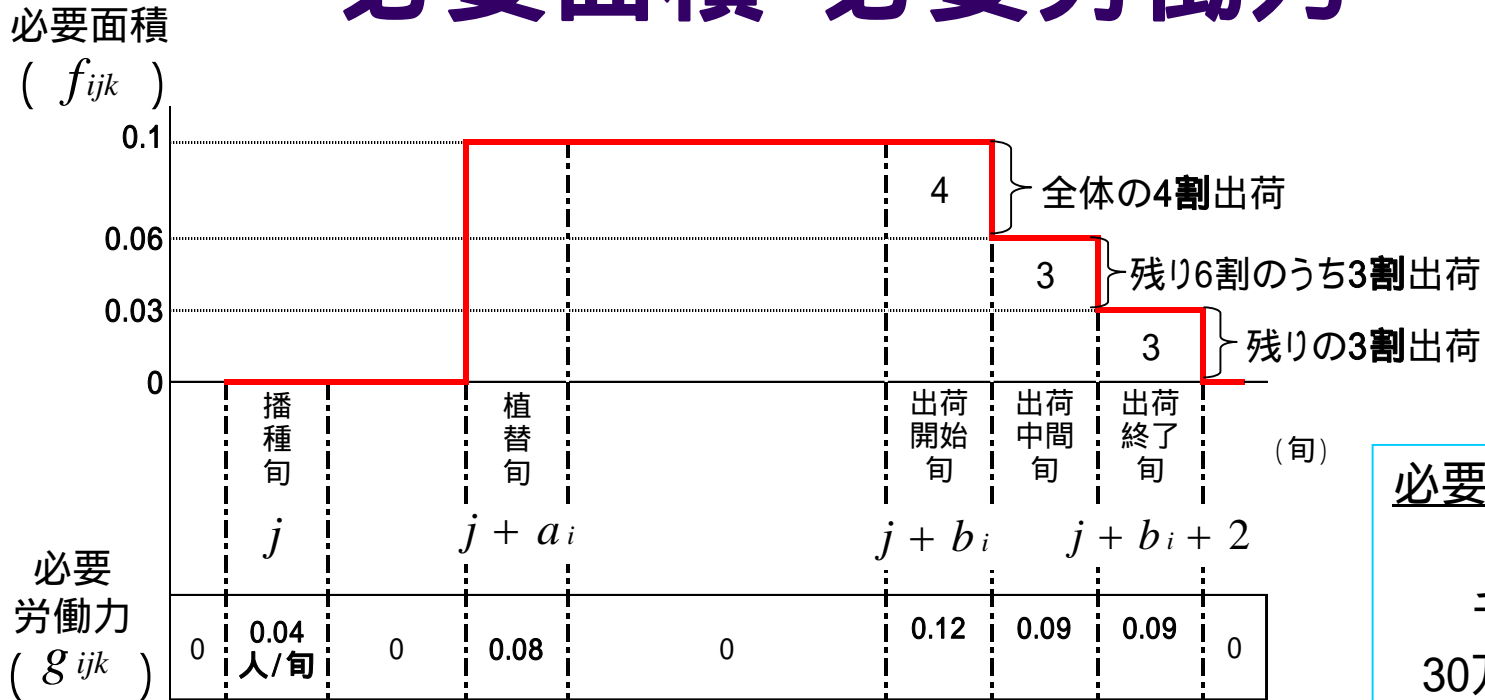
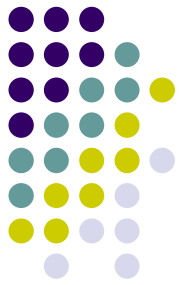
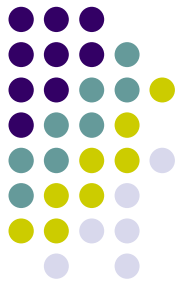


図5 必要面積・必要労働力

$$f_{ijk} = \begin{cases} 0 & : j \leq k < j + a_i \\ 0.1 & : j + a_i \leq k \leq j + b_i \\ 0.06 & : k = j + b_i + 1 \\ 0.03 & : k = j + b_i + 2 \\ & (j \leq k \leq j + b_i + 2) \end{cases}$$

$$g_{ijk} = \begin{cases} 0.04 & : k = j \\ 0.08 & : k = j + a_i \\ 0.12 & : k = j + b_i \\ 0.09 & : k = j + b_i + 1 \\ 0.09 & : k = j + b_i + 2 \\ 0 & : \text{上記以外の } k \\ & (j \leq k \leq j + b_i + 2) \end{cases}$$



4. 定式化

$$\max \quad \sum_{i=1}^I R_i \left(\sum_{j \in [E_i, L_i]} x_{ij} \right) \quad (4.1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^I \left(\sum_{j \in [E_i, L_i]} f_{ijk} \cdot x_{ij} \right) \leq 30 \quad (k = 1, 2, \dots, 36) \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^I \left(\sum_{j \in [E_i, L_i]} g_{ijk} \cdot x_{ij} \right) \leq 10 \quad (k = 1, 2, \dots, 36) \quad (4.3)$$

$$\sum_{j \in [E_i, L_i]} x_{ij} \leq 30 \quad (i = 1, 2, \dots, I) \quad (4.4)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, I) \quad j \in [E_i, L_i] \quad (4.5)$$

目的関数(4.1)式 : 栽培する品種の総利益を最大化する目的関数

制約条件(4.2)式 : 一度における鉢数は30万鉢以下

(4.3)式 : 1旬の労働力は10人以下

(4.4)(4.5)式 : 1品種, 千鉢単位で3万鉢以下

5. 数値実験

5.1 実験概要



- 栽培品種候補: **50品種**

- ・ 労働力と使用面積の制約の下, 総利益を最大化する各品種の播種量と播種時期の組合せを求める.
- ・ 実験の結果を現行の計画と比較して, 有用性を確認する.

- 求解方法: **LP_solve**

制約式の数が多く, かつ込み入っているため, 入力ファイルを手入力で作成するのは困難である.

```
0.1x1_7+0.1x1_8+0.1x3_8+0.1x5_7+0.1x5_8+0.1x7_8+0.1x8_8+0.1x9_8+0.1x13_5+0.1x13_6
+0.1x13_7+0.1x14_4+0.1x14_5+0.1x14_6+0.1x18_7+0.1x18_8+0.1x19_7+0.1x19_8+0.1x20_1
+0.1x20_2+0.1x20_3+0.1x20_4+0.1x22_5+0.1x22_6+0.1x22_7+0.1x22_8+0.1x23_7+0.02x25_2
+0.04x25_3+0.06x25_4+0.1x25_5+0.1x27_8+0.1x28_8+0.1x29_8+0.1x30_7+0.1x31_2+0.1x32_2
+0.1x33_2+0.1x37_7+0.1x38_7+0.1x41_8+0.1x42_1+0.1x42_2+0.1x42_3+0.1x42_4+0.1x42_5
+0.1x42_6+0.1x42_7+0.1x42_8+0.1x42_9+0.1x49_7+0.1x49_8+0.1x50_8 <= 30 ;
0.1x1_7+0.1x1_8+0.1x1_9+0.1x3_8+0.1x3_9+0.1x5_7+0.1x5_8+0.1x5_9+0.1x7_8+0.1x7_9
+0.1x8_8+0.1x9_8+0.1x9_9+0.1x13_5+0.1x13_6+0.1x13_7+0.1x14_4+0.1x14_5+0.1x14_6
+0.1x14_7+0.1x18_7+0.1x18_8+0.1x18_9+0.1x19_7+0.1x19_8+0.1x19_9+0.06x20_1+0.1x20_2
+0.1x20_3+0.1x20_4+0.1x22_5+0.1x22_6+0.1x22_7+0.1x22_8+0.1x22_9+0.1x23_7+0.1x23_8
+0.02x25_3+0.04x25_4+0.06x25_5+0.1x27_8+0.1x28_8+0.1x28_9+0.1x29_8+0.1x30_7+0.1x30_8
+0.1x31_2+0.1x32_2+0.1x33_2+0.1x37_7+0.1x37_8+0.1x38_7+0.1x38_8+0.1x41_8+0.1x41_9
+0.1x42_1+0.1x42_2+0.1x42_3+0.1x42_4+0.1x42_5+0.1x42_6+0.1x42_7+0.1x42_8+0.1x42_9
+0.1x42_10+0.1x49_7+0.1x49_8+0.1x49_9+0.1x50_8+0.1x50_9 <= 30 ;
0.1x1_7+0.1x1_8+0.1x1_9+0.1x1_10+0.1x3_8+0.1x3_9+0.1x3_10+0.1x5_7+0.1x5_8+
0.1x5_9+0.1x5_10+0.1x7_8
```

図6 入力ファイルの一部の例



5.2 実験手順

手順0: 変換システム作成(ExcelのVisual Basic for Applications)

栽培品種候補データをExcelに入力

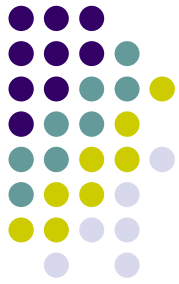
→ LP_solveへの入力形式で目的関数と制約条件をファイルへ書き出す

手順1: 栽培品種候補データ入力

栽培候補となる品種の各データ(表1)をExcelに入力する

表1 栽培品種候補データ

	品種	最早播種旬	最遅播種旬	播種選択旬数	占有期間	植替旬	費用	単価	利益
1	アスター(2月出荷)	7	14	8	15	2	2,100	40,000	37,900
2	アスター(6月出荷)	17	22	6	15	2	2,100	47,000	44,900
3	アリッサム	8	14	7	20	2	160	34,000	33,840
4	インパチェンス	25	27	3	10	3	3,150	40,000	36,850
5	オステオスペルマム	7	21	15	15	2	9,500	38,000	28,500
6	ガーベラ	15	20	6	14	2	34,650	91,000	56,350



5.3 実験手順

手順2: 入力ファイル作成

```

max: 40000x1_7 + 40000x1_8 + 40000x1_9 + 40000x1_10 + 40000x1_11 + 40000x1_12 +
40000x1_13 + 40000x1_14 + 47000x2_17 + 47000x2_18 + 47000x2_19 + 47000x2_20 +
47000x2_21 + 47000x2_22 + 34000x3_8 + 34000x3_9 + 34000x3_10 + 34000x3_11 +
34000x3_12 + 34000x3_13 + 34000x3_14 + 40000x4_25 + 40000x4_26 + 40000x4_27 +
38000x5_7 + 38000x5_8 + 38000x5_9 + 38000x5_10 + 38000x5_11 + 38000x5_12 +
38000x5_13 + 38000x5_14 + 38000x5_15 + 38000x5_16 + 38000x5_17 + 38000x5_18 +
38000x5_19 + 38000x5_20 + 38000x5_21 + 91000x6_15 + 91000x6_16 + 91000x6_17 +
91000x6_18 + 91000x6_19 + 91000x6_20 + 45000x7_8 + 45000x7_9 + 45000x7_10 +
45000x7_11 + 45000x7_12 + 52000x8_8 + 42000x9_8 + 42000x9_9 + 42000x9_10 +
42000x9_11 + 42000x9_12 + 34000x10_16 + 34000x10_17 + 34000x10_18 +
34000x10_19 + 34000x10_20 + 61000x11_22 + 61000x11_23 + 61000x11_24 +
61000x11_25 + 61000x11_26 + 39000x12_10 + 39000x12_11 + 39000x12_12 +
39000x12_13 + 37000x13_5 + 37000x13_6 +
90000x14_6 + 90000x14_7 + 90000x14_8 + 90000x14_9 +
90000x14_12 + 38000x15_20 + 38000x15_21 + 38000x15_22 + 38000x15_23 +
40000x16_21 + 40000x16_22 + 40000x16_23 + 40000x16_24 +
40000x16_26 + 40000x16_27 + 40000x16_28 + 40000x16_29 + 40000x16_30 +
37000x17_23 + 27000x17_24 + 27000x17_25 + 27000x17_26 + 27000x17_27 +
+ 27000x18_12 + 27000x18_13 + 27000x18_14 + 27000x18_15 + 27000x18_16 +
C:\Documents and Settings\kaiho\path f:\ip_solve
C:\Documents and Settings\kaiho\path f:\ip_solve
F:\>cd F
F:\>cd kaiho
F:\kaiho>path
PATH=f:\ip_solve
F:\kaiho>ip_solve < xdef.txt_

```

手順3: LP_solveへ入力

手順4: 出力

x30_7	5.49092
x30_8	0
x30_9	0
x31_2	30
x10_16	14.6547
x10_17	0
x10_18	0
x10_19	0
x10_20	0
x26_17	0
x32_2	30
x33_2	12.6475

- ・目的関数
- ・栽培品種
- ・播種量
- ・播種時期

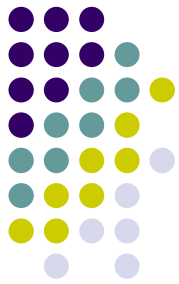
手順5: 栽培計画作成

実数解を整数解に丸めて、栽培計画作成する。

x30_7	5
x30_8	0
x30_9	0
x31_2	30
x10_16	14
x10_17	0
x10_18	0
x10_19	0
x10_20	0
x26_17	0
x32_2	30
x33_2	12

5.4 実験結果・考察

～ビニールハウス使用率と労働力稼働状況の比較～



ビニールハウス使用率:52.01%

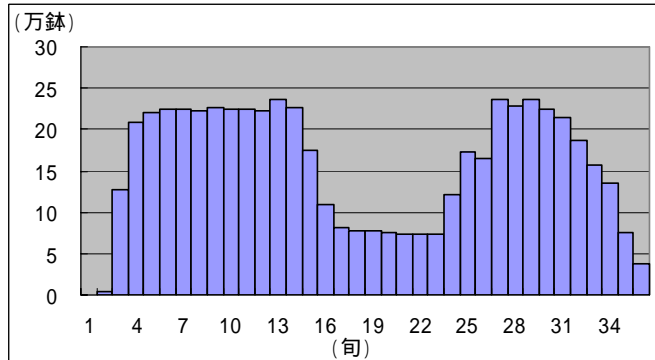
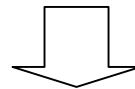


図7 ビニールハウスの使用状況(現行)

ビニールハウス使用率
18.61%UP



ビニールハウス使用率:70.62%

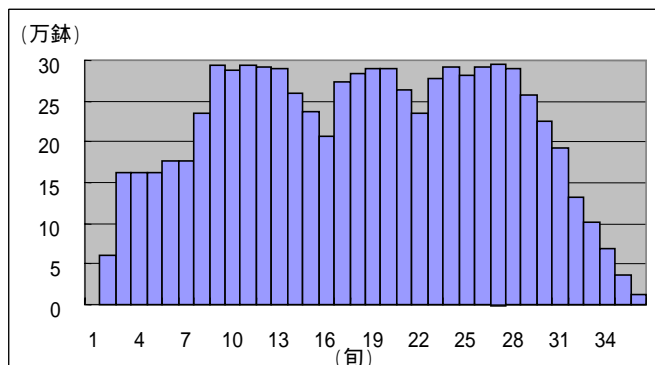


図9 ビニールハウスの使用状況(実験)

総労働力:215.9人

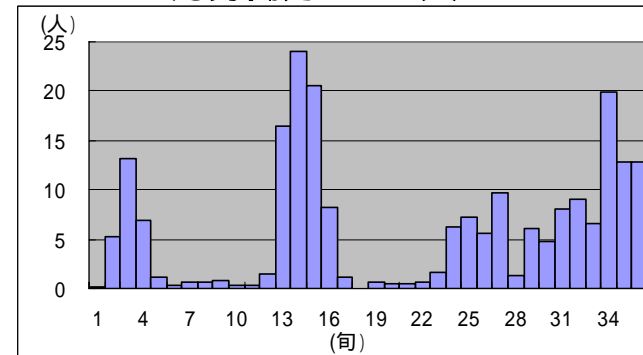


図8 労働力の稼働状況(現行)

総労働力:271.3人

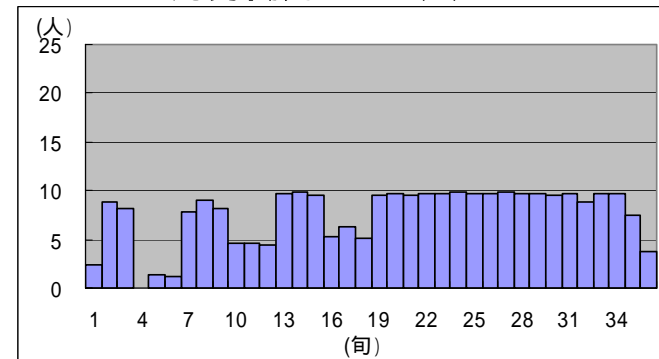


図10 労働力の稼働状況(実験)



5.5 実験結果・考察

表3 実験結果比較

比較項目	現行の計画	提案モデルによる計画	差(実験-現行)
栽培品種	20種	26種(内,現行の計画と同一品種:13種)	6種
平均単価(1鉢)	39.11円	51.53円	12.42円
総栽培量	51万4千鉢	64万6千鉢	13万2千鉢
総利益	20,103,214円	33,291,469円	13,188,255円

- ・1鉢あたり平均単価が12.42円増加 ➡利益率の高い品種を選択
- ・総栽培量が13万2千鉢増加 ➡ビニールハウスを有効に利用できる
播種時期の選択

総利益の増加が予想を超えて大きい
同一品種の複数の播種旬を許しているため

x1_7	20
x1_9	8
x1_10	0
x1_14	0
x2_17	15
x2_18	2
x4_25	30

第1品種の播種旬
7, 9



6. 追加実験

- 複数の播種句を許さない制約を追加

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 : \text{第 } i \text{ 品種を第 } j \text{ 句に播種するとき} \\ 0 : \text{第 } i \text{ 品種を第 } j \text{ 句に播種しないとき} \end{cases} \quad (5.1)$$

$$\sum_{j \in [E_i, L_i]} y_{ij} \leq 1 \quad (5.2)$$

1品種の播種句は1句のみ

$$x_{ij} \leq 30 y_{ij} \quad (5.3)$$

1品種の播種量は30万鉢以下

- 実験結果

LP_solveを10日間走らせたが、解が求まらなかった。

7. 終わりに

7.1 本研究の結論



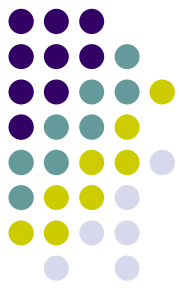
線形計画モデルを用いて栽培計画を作成

- ・利益率の高い品種の選択
- ・播種時期の上手い選択(労働力の分散,ビニールハウスの有効利用)



利益を拡大できる栽培計画を作成

利益拡大と、**資源**(労働力や施設)**利用**に有効な数理計画を用いた栽培計画の立案方法に筋道をつける



7.2 今後の課題

- (1) 同一品種の複数の播種日を許さない栽培計画を作成する。
- (2) 1年を365日で考え、栽培計画を作成する。

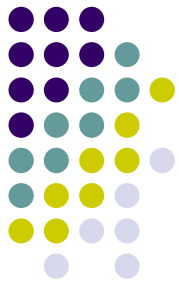
モデルと求解方法について、考え直す必要がある



8. 参考文献

- [1] 丸山義博, 山口俊和: “周年切り型の生産によるバラ切り花生産用温室の最適利用に関する研究”, 経営工学論文誌, Vol.57, No.2, pp153-161, 2006
- [2] 今野浩: 「線形計画法」, 日科技連, 1995年
- [3] 農林水産省: 農林水産統計データ, <http://www.maff.go.jp>, アクセス日 2006/12/12

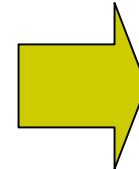
抄録の訂正



P.111の上から3行目

$$f_{ijk} = \begin{cases} 0 : j \leq k < j + a_i \\ 0.1 : j + a_i \leq k < j + b_i \\ 0.06 : j + b_i \leq k < j + b_i + 1 \\ 0.04 : j + b_i + 1 \leq k < j + b_i + 2 \\ 0.02 : j + b_i + 2 \leq k < j + b_i + 3 \\ (j \leq k \leq j + b_i + 3) \end{cases}$$

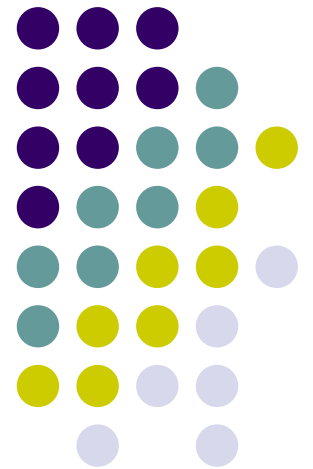
$$f_{ijk} = \begin{cases} 0 : j \leq k < j + a_i \\ 0.1 : j + a_i \leq k \leq j + b_i \\ 0.06 : k = j + b_i + 1 \\ 0.03 : k = j + b_i + 2 \\ (j \leq k \leq j + b_i + 2) \end{cases}$$



$$g_{ijk} = \begin{cases} 0.04 : k = j \\ 0.08 : k = j + a_i \\ 0.16 : j + b_i \leq k < j + b_i + 1 \\ 0.08 : j + b_i + 1 \leq k < j + b_i + 2 \\ 0.04 : j + b_i + 2 \leq k < j + b_i + 3 \\ (j \leq k \leq j + b_i + 3) \end{cases}$$

$$g_{ijk} = \begin{cases} 0.04 : k = j \\ 0.08 : k = j + a_i \\ 0.12 : k = j + b_i \\ 0.09 : k = j + b_i + 1 \\ 0.09 : k = j + b_i + 2 \\ 0 : \text{上記以外の } k \\ (j \leq k \leq j + b_i + 2) \end{cases}$$

付録

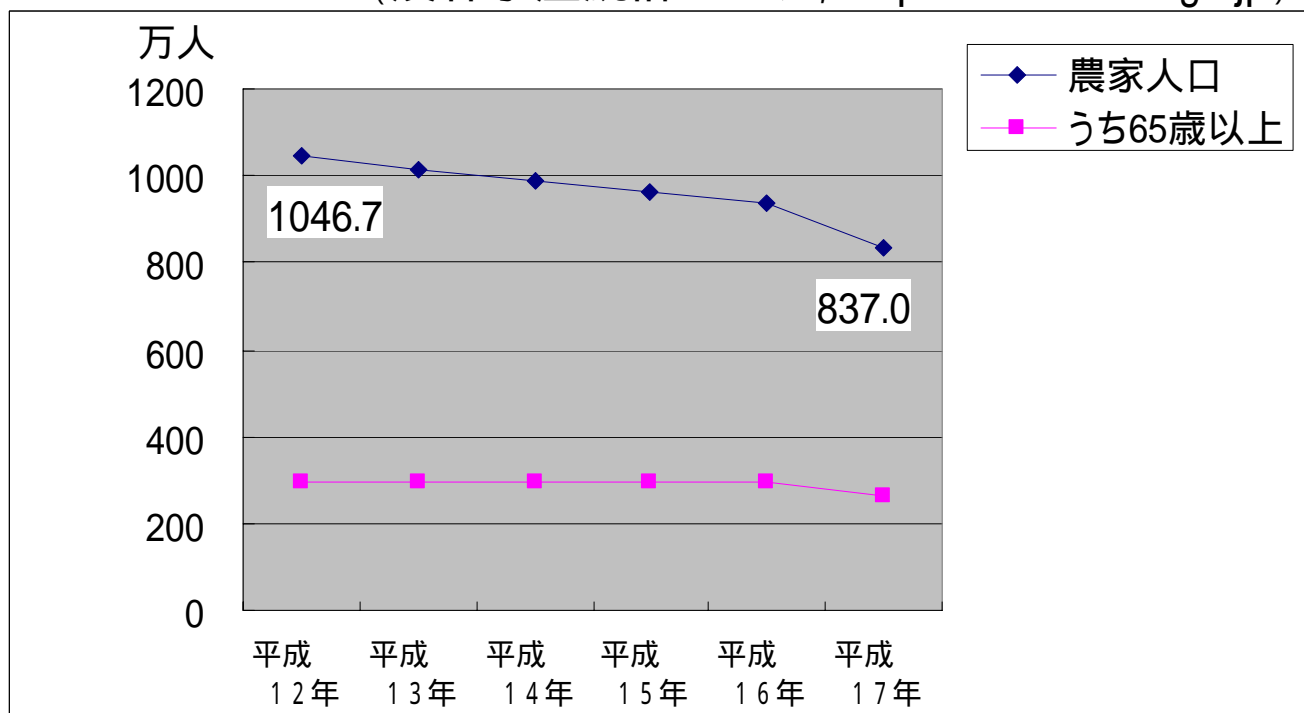




農家人口の推移

● 過去6年間の全国農家人口の推移

(農林水産統計データ, <http://www.maff.go.jp>)





労働力と総利益の増加率

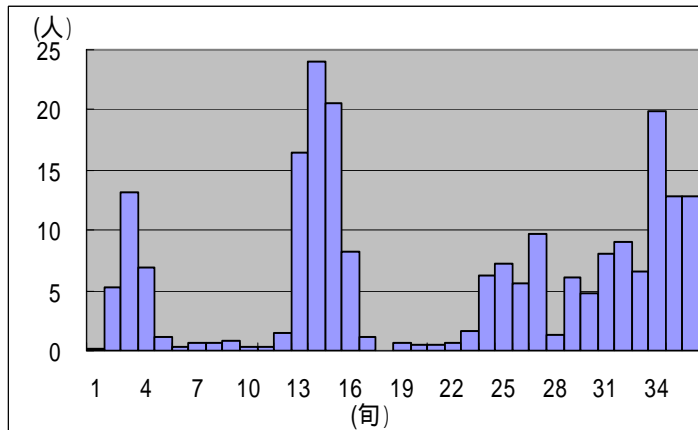
総利益：20,103,214円

1.7倍



総利益：33,291,469円

総労働力：215.9人

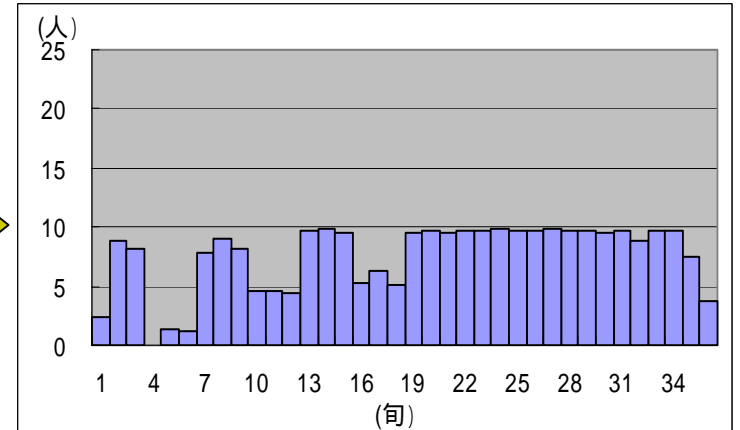


労働力の稼動状況(現行)

1.3倍



総労働力：271.3人



労働力の稼動状況(実験)



栽培品種と播種量の比較

: 占有期間の短い品種
 : 利益率の高い品種

品種	占有期間	利益	現行の計画	提案モデルによる計画	品種	占有期間	利益	現行の計画	提案モデルによる計画
1 アスター(2月出荷)	15	37,900		29	26 ナデシコ(春)	14	22,010		
2 アスター(6月出荷)	15	44,900		29	27 ナデシコ(冬)	15	47,010		15
3 アリッサム	20	33,840	5		28 ネメシア	21	45,800		
4 インパチェンス	10	36,850	28		29 ネモフィラ	20	40,800		
5 オステオスペルマム	15	28,500			30 バーベナ	20	46,060		8
6 ガーベラ	14	56,350		30	31 葉ぼたん	14	54,430	12	30
7 ガザニア	20	41,220	5		32 パンジー	14	40,430	120	30
8 カンパニュラ	24	48,850			33 ビオラ	14	34,640	80	12
9 金魚草	20	40,500	10		34 ひまわり	10	39,010	12	6
10 きんせんか	11	33,480		14	35 百日草	13	36,320		
11 きんれんか	11	56,575		28	36 ピンカ(日々草)	12	43,740	18	30
12 クリサンセマム(早春)	14	38,760	21	29	37 フロックス	21	29,060		
13 クリサンセマム(年内)	10	36,769		29	38 ベゴニア	21	47,840	17	21
14 クロサンドラ	19	75,300		29	39 ペチュニア	11	42,000	80	29
15 けいとう	12	37,650			40 ペンタス	14	66,270		30
16 コスモス	10	37,900			41 ポピー	16	22,790	15	
17 サルビア	12	35,250	30		42 マトリカリア	20	32,645		30
18 スイートピー	25	20,440			43 マリーゴールド	11	35,950	13	30
19 スカビオサ	24	31,000			44 ミムラス	14	39,200		
20 ストック	12	47,800	3	30	45 メランポディウム	8	39,842	17	29
21 セラニウム	15	90,000		30	46 リナリア	20	39,624		
22 デージー	17	36,850	5	10	47 リビングストーンデージー	17	29,970		
23 デルフィニウム	24	116,370		29	48 ルドベキア	27	41,265		
24 トレニア	13	35,320	18		49 ロベリア	22	38,000		
25 ナデシコ(秋)	8	53,010	5	30	50 忘れな草	23	38,866		
						合計播種量		514	646
						合計品種数		20	26

線形計画問題

(LP : linear programming problem)



- いくつかの変数の1次不等式と1次等式条件の下で、それらの変数に関する1次式を最小化したり、最大化したりする問題