スプレーギクの花房フォーメーションの評価 アルゴリズムに関する研究 (第1報)

——着花位置を決定する特徴量の抽出——

甲斐和広・近藤 直*・林 孝洋**

芝野保徳*・小西国義*・門田充司*

岡山大学大学院自然科学研究科・*岡山大学農学部・**京都大学農学部

Studies on Algorithm for Evaluating Spray Formation of Cut Chrysanthemum (1)

——Feature Extraction Determinating Spray Formation——

Kazuhiro KAI, Naoshi KONDO,* Takahiro HAYASHI,**

Yasunori SHIBANO,* Kuniyoshi KONISHI* and Mitsuji MONTA*

Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama 700, Japan

** Faculty of Agriculture, Okayama University, Okayama 700, Japan*

*** Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606, Japan*

The quality of inflorescence is evaluated by a complicated algorithm which consists of many factors such as length, weight, relationship between leaves and flowers, color, flower position and so on. The quality evaluation is done by the human eye and the criteria depend on seller at auction. However, an objective evaluation for inflorescence is desirable. In this study, some experiments on the evaluation of a spray formation of spray-type chrysanthemum were done by neural network. The chrysanthemums were grown under different conditions regarding planting density, illumination, treatment of plant growth regulator to get various spray formations. In this paper, peduncle length, angle between the main stem and each peduncle and internode length were directly measured manually and were used as input parameters of the neural network. From the results evaluated by the neural network and an expert, the followings were found. 1. Various spray formations were obtained with different planting density and especially very different formation was obtained with the application of plant growth regulators. 2. The spray formation of chrysanthemum grown under the standard planting density was given excellent evaluation by the expert, while that treated with growth retardant had the lowest evaluation. 3. It was observed that the first evaluation by the expert was different from the second one. This implies that human evaluation can be affected by some unknown conditions. 4. Evaluation results by the neural network followed those by the expert adequately. The difference of the evaluated values between them was within ± 1 . 5. It was considered that the performance of the neural network for chrysanthemums could be improved by the addition of teaching data and input parameters.

(Received March 30, 1995)

1995年3月30日受付

緒 言

切り花は、長さや重さにより、いくつかの等級に分けられて出荷される。収穫後、生産者は基準に合わせて切

り花の調整と選別を行うが、その労力は多大であり、生産規模が大きくなると、その機械化が不可欠となる。いっぽう、市場の大型化にともない、花卉の出荷・販売技術が近年きわめて重要になってきている。産地の生き残りあるいは発展のためには、共同選花・共同販売が急務

であり、そのためにはすぐれた選花機の開発が望まれる。

ミカンやスイカなどの果実と異なり、花卉の選別には複雑なアルゴリズムが要求される。切り花の品質は、長さ、重さに加え、茎葉のバランス、花首の長さ、茎の曲がり程度、花や葉の色つやなど多くの要素によって決まる。スプレー咲きの花やシュッコンカスミソウ、スターチスなどの花序では、小花の数や着き方、草姿なども重要な品質評価基準である。これらの要素は総合的に競り値に反映するが、選花の判断は生産者の感覚という不明瞭な基準で行われているのが現状である。

本研究では、画像処理およびニューラルネットワーク（以下、ニューロと称する）を用い、一定した品質評価基準を設定することで、花卉の品質評価を定量化、さらには自動化することを目的としている。本報では、スプレーギクを対象に、個々の頭状花（以下、花と称する）の空間配置（以下、スプレーフォーメーションと称する）を評価するアルゴリズムを検討した。スプレーフォーメーションは、栽培環境によって大きく変動し、切り花の品質を決める重要な要因であるとともに最も評価しにくい要素である。本実験では、栽培によって人為的にフォーメーション変化させたスプレーギクについて、フォーメーションを決定する特徴量の抽出とその評価を試みた。

材料および方法

1. 材 料

主要なスプレーギクは、短日植物の秋咲品種（鶴島，1983）であり、一輪ギクと同じ方法で栽培されている。欧米においては、主として日長処理によって周年生産が行われているが、日本では、夏季の長日のもとでも開花する夏咲き品種とを組み合わせた開花調節を行うことによって周年生産されている（船越，1992；小西ら，1990）。

本実験では、供試材料として栽培した秋咲きのスプレーギク【品種：ピンキー，学名：*Dendranthema × grandiflorum* (Ramat.) Kitamura】を、最上位節から750 mmの長さに切りそろえて用いた。

2. 栽培方法

1991年10月に岡山大学内の温室において、5本から30本の苗を栽培箱（長さ600 mm，幅350 mm，深さ180 mm）に定植した。温室内の最低温度は、定植直後から開花期まで、温風暖房機を用いて15°Cに設定した。日長処理を行う実験区に関しては、処理の過程で一時的に別棟温室を利用し、その最低温度を12°Cとした。

栽培箱の個数は疎植区、密植区に関してはおのおの2

箱、他の区に関してはおのおの1箱の合計10箱を用い、以下に示す各処理を行った。

2.1 栽植密度の違い

受光量および土壌水分量を変化させて、フォーメーションを変える目的で、栽培箱内の苗の栽植密度を5，10，15および30本とした。本実験で用いた栽培箱の寸法であれば、10本が標準区と考えられる。よって栽植密度により、これらを以下、疎植区（No. 1（処理区番号）），標準区（No. 2），密植区（No. 3），超密植区（No. 4）とよぶ。まず、疎植区においては栽培箱の4隅と中心部におのおの1本ずつ、標準区は5本ずつ2列に栽培した。さらに密植区は5本ずつ3列に、超密植区は6本ずつ5列に栽培した。

2.2 日長および減光処理

本処理では、日長・日射量の変化がフォーメーションに影響を与えることから、再電照および減光処理を施した区を設定した。再電照処理区（No. 5）は定植してから10日後に、別棟の温室に移動し、午後10時から午前2時まで4日間電照した。その後、3日間自然日長の状態に戻して、再度3日間電照し、開花期まで自然日長で栽培を行った。電照を行う温室は、夜間温度が12°Cに保たれるように設定した。

減光処理区（No. 6）は、再電照処理区の電照開始と同時に、栽培箱上部と側面を遮光材で覆うことにより10日間減光した。遮光材は、遮光率約50%の黒色寒冷紗を4枚重ねて用いた。栽培本数は、他の実験区と比較するため、両区ともに標準区と同じとした。

2.3 薬剤処理

本処理では、前項の日長および減光処理区と同時期に、薬剤を用いて生長を抑制および促進させることにより、フォーメーションを変化させた。抑制処理には矮化剤のウニコナゾールを、促進処理にはジベレリンをそれぞれ界面活性剤を加えて、供試材料の茎頂部に重点的に散布した。以下、これらをウニコナゾール処理区（No. 7），ジベレリン処理区（No. 8）とよぶ。栽植密度は、両区ともに標準区と同じとした。

3. 特徴量の計測方法

本研究においては、Fig. 1に示すように、供試材料の特徴量として、花柄（花首）長、花柄と主茎の成す角（以下、花柄角と称する）および節間長を計測した。節間長 K_m は、花柄や葉柄によりノギスを使用できなかったため、供試材料の切り口から節までの長さ H_m を計測することによって算出した。花柄長 L_n および花柄角 θ_n は、節および着花位置の座標を計測することにより算出した。

Fig. 1 Measuring method for characteristics of chrysanthemum.

L_n , peduncle length; θ_n , peduncle angle; K_m , internode length ($H_m - H_{m+1}$); H_m , height from cut end to node ($2 \leq m \leq 9, 1 \leq n \leq 10$, m, n : number of inflorescence).

4. 評価方法

本研究では、ニューロで評価するさいに教師データが必要となること、また、ニューロによる評価結果を従来の評価結果と比較する必要があるため、ニューロの評価に先だってキク栽培の熟練者（以下、専門家と称する）による評価を行った。評価を非接触で自動的に行う場合、供試材料の画像が必要となる。そこで、ビデオカメラを用いて、その画像を出葉方向に合わせた5方向およびその間の5方向の合計10方向から撮影した。しかし、その画像においては、花同士、花と葉および主茎と葉等が重なり、品質評価を左右すると考えられる花および節の位置が正確に検出できないことがあった。そこで、撮影に使用した各供試材料から舌状花と葉を切除したものに関しても同様に10方向から撮影し、評価の対象に加えた。本論文では、茎および舌状花を残した状態を葉有、それらを切除した状態を葉無の供試材料とよぶこととする。評価のさいに利用するビデオ画像には、各実験区から5本ずつ供試材料を選出し、その順序をランダムに編集したものを用いた。そのさい、専門家の評価のあいまいさを調べるため、同一供試材料を複数回編集した。

4.1 専門家による評価方法

専門家による評価においては、葉有および葉無の供試材料の画像を用いて、専門家により設定された5段階の評価指標で表現した。その指標には1から5の数字を用い、数字が大きくなるほど高い品質と定めた。

本実験においては、評価を行う前に、あらかじめ葉有および葉無の全供試材料の画像をそれぞれ数秒間見せ、専門家の評価が偏らないようにした。その後、葉有、葉無の順に1本ごとの評価を行った。そのさいには、各供

試材料が栽培された実験区および葉有と葉無の関連については専門家に知らせていない。

4.2 ニューロによる評価方法

4.2.1 ニューロの概略

ニューロの基本機能は、入力層に与えた信号が結合荷重により変換されながら、出力層のユニットの値として出力される信号伝播を行うことであるが、これだけでは入力パターンからある決まった出力パターンが出力されるだけであり、応用のきくものではない。

そこで、入力パターンに対して望ましい出力値を調整する必要がある（平野, 1991）。この調整方法の代表的なものが誤差逆伝播法であり、出力層での誤差を入力層へ向かって伝播するという機能を備えたネットワークの構成のもとで学習を行う仕組みになっている。この入出力層の間には、中間層が設けられることもあり、一般にこれら層数およびユニット数は、経験によって決められている（安居院ら, 1993）。

4.2.2 ニューロによる評価方法

スプレーギクの品質評価は、典型的な一輪ギクに比べ、着花位置によるところが大きいため、その位置を左右する前述の特徴量を用い、ニューロで学習させることにした。入力因子は Fig. 2 に示すように、花柄長、節間長および花柄角の三つとし、上部および下部でその値に差が現れるため、上、中、下位節の3因子に分けたうえで、上位節および下位節を入力することとした。

本研究では、上位節とは花柄長に関しては第1~3花序を、花柄角に関しては第1花序は鉛直方向に着生すると仮定したため第2~3花序を、節間長に関しては第1花序の節間長と花柄長は同値であることから第2~3花序の節間と定義した。また、下位節は花柄長および花柄角とも第8~10花序を、節間長については第10花序以降を切除したため第8~9花序の節間とした。入力層は

Fig. 2 Schematic diagram of neural network.

E, excellent; O, others; PL, peduncle length; PA, peduncle angle; IL, internode length; U, upper part; L, lower part.

6 ユニットで、各ユニットには3桁のコード化された数字を入力した。中間層は1層で4ユニットとし、出力層は品質評価における『優』および『その他』の2ユニットにより構成した。この3層完全結合型ネットワークを用いて、学習後の出力層の『優』ユニットへ出力される正の実数を5段階に変換した値を、ニューロによる評価指標とした。なお、『その他』には、1に対する『優』の補数が出力される。

教師データには、各実験区の葉無の供試材料に対する専門家の評価結果から四つずつ無作為に選んだ。学習方法は、最も少ない学習回数が安定値に収束すると考えられる修正慣性法(中野ら, 1989)を用いた。伝達関数にはシグモイド関数を用い、学習するさいの諸条件として、シグモイド曲線の傾き、結合係数およびオフセットの初期値の範囲、許容誤差上限値、慣性係数等を入力し、学習回数上限は3000回とした。

結果および考察

1. 特徴量の計測結果

Table 1に、各実験区における特徴量の平均値を示す。

花柄長に関しては、下位節に伸長不足の花柄がみられた供試材料もあったものの、全体的には再電照処理区が最も大きく、ウニコナゾール処理区が最も小さくなった。また、超密植区は栽植密度の影響が強く現れており、やや小さな値を示した。

花柄角に関しては、ウニコナゾール処理区で小さくなり、比較的花柄長の伸長した再電照処理区およびジベレリン処理区では大きな値を示した。

節間長は、密植区およびジベレリン処理区において伸

長した。また、ウニコナゾール処理区では節間長が抑制され、最上位節から切り口までの長さが750 mmを超えるものが1本もみられなかった。

Fig. 3, Fig. 4およびFig. 5には、花柄長、花柄角および節間長の上位節および下位節における分布を示す。

超密植区では、過度に密植したため生長阻害され、花柄長が極端に短くなった。いっぽう、再電照処理区は、上位節および下位節ともに最もよく伸長した。それに比べて減光処理区は、全体として花柄長が短いことがわかった。

花柄角においては、ウニコナゾール処理区では花柄長が短いため、角度は最も小さくなった。それに対し、再電照処理区およびシベレリン処理区では花柄長が長いため、角度も大きくなる傾向がみられた。

節間長に関しては、栽培本数が多くなるに従い、長くなる傾向がみられた。ただし、超密植区においては、標準区および密植区よりも短くなった。また、ジベレリン処理区は下位節においてジベレリンの伸長効果がみられた。

2. 専門家による評価結果および考察

Fig. 6に、各供試材料に対する専門家による評価を示す。図中の▲および○は1回目の葉有および葉無の供試材料に対する専門家の評価結果を、●は教師データとして利用した供試材料を示している。評価のさいに利用するビデオ画像は、供試材料を回転させて撮影しているため、フォーメーションの形態上、方向が変わると評価も変動することがあった。この場合は平均を求め、小数点第1桁までの数値を用いて評価した。以下に、各実験区の評価結果について述べる。

Table 1 Average value of measured characteristics for cultivating condition.

Treatment	Experimental number	Planting density (plants/box ²)	Number of boxes	Peduncle length (mm)	Peduncle angle ² (°)	Internode length (mm)
Density	1	5	2	112.3	151.3	28.9
	2	10	1	114.1	146.3	30.4
	3	15	2	115.1	148.2	34.1
	4	30	1	98.1	147.4	29.6
Re-lighting	5	10	1	154.5	154.2	30.5
Shading ^x	6	10	1	118.8	148.9	25.9
Uniconazole ^w	7	10	1	72.1	139.0	16.0
Gibberellin ^v	8	10	1	122.5	155.3	34.8

² Box size, length 624 mm, width 277 mm and depth 200 mm.

² Angle between peduncle and the main stem.

^x Cultivation under shaded light.

^w Uniconazole spray, 10 mL L⁻¹ uniconazole.

^v Gibberellin spray, 100 mg L⁻¹ gibberellin.

Fig. 3 Frequency of upper and lower part peduncle length for each cultivating condition.

Fig. 4 Frequency of upper and lower part peduncle angle for each cultivating condition.

疎植区は、草姿の整った良質の切り花が獲られると予想されたが、株の受光量や養分が過多となったためか、やや剛直な印象を与え、栽植密度処理区のなかでも評価は低いほうであった。

標準区は先に示した Table 1 より、花柄長および節間長が適度に伸長しているため、最も高い評価を得た。す

Fig. 5 Frequency of upper and lower part internode length for each cultivating condition.

べての処理区を通じて、専門家の評価は本区が最も高くなった。このことから、本実験で使用した栽培箱程度の大きさであれば、本数は10本前後が適当であることが確認された。

密植区は、やや徒長気味になったため、評価も標準区より低くなった。

超密植区は、生長過程において養水分が不足することや、受光量が制限されるなどの状況が草姿に影響を及ぼすため、すべての供試材料において低評価が予想された。しかし、評価値4を得たものもみられ、全実験区中で最も大きなばらつきのある評価結果となった。その原因の一つには、ピンキーが耐密植性の低い品種であり(船越, 1992)、隣接する他の株(供試材料)との接触状態によって、生育にばらつきが生じたものと考えられる。

再電照処理区は、他の区に比べて開花期に遅れはあったものの、Table 1 に示されるように花柄長および節間長ともに伸長し、フォーメーションが整い、標準区に続く高い評価を受けた。

減光処理区は、節間長は他区に比べて伸長せず、下位節の花柄角が大きくなり、低い評価となった。

ウニコナゾール処理区は Table 1 より、花柄長および節間長の伸長が抑制されており、切り花長はすべて750 mm 未満と短く、花房も小さいため、評価は最も低くなった。

いっぽう、ジベレリン処理区は、スプレーグ独特の

Fig. 6 Evaluation of inflorescence quality by the expert.

●, chrysanthemum used as teaching data.
Evaluation value (first time): ▲, with leaves; ○, without leaves.

Table 2 Comparison of evaluation values between the first and the second evaluation by the expert.

Experimental number	Evaluation value			
	With leaves		Without leaves	
	First time	Second time	First time	Second time
1	4.0	4.5	3.0	4.0
2	3.5	4.5	3.0	3.0
3	3.5	3.5	3.0	3.5
4	2.0	2.0	2.0	2.0
5	3.0	3.5	3.0	4.0
6	3.5	3.0	3.0	4.0
7	2.0	2.0	2.0	2.0
8	3.0	3.0	2.0	3.0

しなやかさをもっていたが、若干徒長気味となった。また、Fig. 4 からわかるように、花房下部が充実していなかったために低評価を受けた。

以上の特徴量の他に、画像入力時の各供試材料の開花期が一応でないため、開花数、花の大きさ等の要素に差が生じ、専門家の評価に不安定な要因を与えたように思われる。それは、Table 2 に示すように、各実験区から1本ずつ選んだ同一の供試材料に対する専門家の1回目および2回目の評価の差にみることができる。この表より、おのおのの供試材料の評価には、0.5~1の差が生じ、ウニコナゾール処理区のように各特徴量に極端な変化がみられる供試材料を除くと、人間による評価基準が一定ではなく、あいまいなものであることが示された。

3. ニューロによる評価結果および考察

ニューロによる評価結果を Fig. 7 に示す。図中の○

Fig. 7 Evaluation of inflorescence quality by neural network.

●, teaching data. Evaluation value(without leaves): △, neural network. Expert: ○, first time; ×, second time.

は供試材料に対する専門家の1回目の評価を、△はニューロによる評価を、×は同一供試材料に対する専門家の2回目の評価を、●は教師データとして利用した供試材料を示しており、評価対象は、各実験区から教師データを含む2本ずつの合計16本を選んだ。

図よりニューロによる評価は、専門家の評価とかなりよく一致していることがわかる。再電照処理区、ジベレリン処理区の教師データに用いなかった供試材料の評価においては、若干差がみられるものの、両評価値の差が±1の範囲におさまる、専門家のあいまいさと同程度あるいはそれ以上の精度で評価可能であった。

疎植区、減光処理区およびジベレリン処理区では、教師データに対する評価において、専門家の1回目の評価とニューロの評価が一致しているにもかかわらず、専門家の2回目の評価とニューロによる評価の差が1に近い供試材料があった。これは、ニューロの学習のさい、専門家の1回目の評価のみを教師データとして利用し、専門家による評価が1回目と2回目で異なるためであると考えられた。もし、同一供試材料における両評価を学習させれば、この専門家のあいまいさは模倣可能であると思われる。

再電照処理区においても、ニューロによる評価と専門家の1回目の評価に多少の差がみられた。これは、教師データとして選んだ供試材料の特徴量をコード化したさいに、まったく同じコードが与えられた別の供試材料に対し、専門家が異なる評価値を与えたためである。この理由としては、専門家は花柄長、花柄角および節間長といった特徴量以外の因子を評価に用いているため、あるいは専門家がもつあいまいさのためであると考えられ

た。しかし、このときニューロによる評価値が、専門家の1回目と2回目の間の値を示している。これは、学習することにより、各特徴量のもつ重みが変わり、柔軟性をもった評価フィルタとして機能しているためと考えられた。

このネットワークの構成において、学習収束回数は241回を要した。なお、学習1回あたりの所要時間はパーソナルコンピュータ (CPU: 386SX, クロック数: 16 MHz) を用い、ユニット数は入力層6 (桁数18)、中間層4、出力層2で計算した場合、標準仕様の状態で約8秒、数値演算コプロセッサ (83S87) を装着した場合は約1秒で処理が可能であった。入力因子においてコード化の桁数を増加させた場合、および中位節の特徴量を設けた場合、学習収束回数は減少するものの、専門家の評価との差が1を超えるものが現れた。

今後は教師データ数を増加すること、入力因子として花の寸法、各花の開花のそり、葉等に関する特徴量を加えること、さらには画像から得られる特徴量を利用した定量的かつ自動的な評価を行うこと等が必要であると考えられた。

摘 要

本研究では、栽培によって人為的にフォーメーションを変化させたスプレーギクを材料として用いた。フォーメーションを形成する特徴量として、花柄長、花柄角、節間長を計測したうえで、専門家およびニューロによる品質評価について検討を行った。その結果、以下のようことが明らかとなった。

1. 処理方法を変えて栽培した供試材料は、その草姿に差異がみられ、とくに薬剤処理区において各特徴量の

差異は顕著であった。

2. 専門家による評価は、標準区における栽培本数が10本程度の供試材料に対して高く、生長を抑制した処理区で最も低い結果となった。

3. 専門家による複数回の評価結果においては、0.5~1程度の差が生じ、人間による評価基準が一定ではなく、あいまいであることが示唆された。

4. ニューロによる評価結果においては、専門家の行った評価に追従し、専門家の結果のほぼ±1の範囲におさまった。

5. ニューロによる評価結果が、若干専門家の結果と異なった処理区においては、教師データ数を増加することおよび入力因子に設定した特徴量の種類を追加すること等によって改善されたと考えられた。

本研究は、文部省科学研究費、奨励研究 A (課題番号 05856046) の交付を受けた。ここに記して関係各位に感謝の意を表する。

文 献

- 安居院猛・長橋 宏・高橋裕樹 1993. 「ニューラルプログラム」昭晃堂, 東京. p 51-53.
船越桂市 1992. 「切り花栽培の新技术 キク(上)」誠文堂新光社, 東京. p 102-110.
平野広美 1991. 「Cでつくるニューラルネットワーク」パーソナルメディア, 東京. p 15-21.
小西国義・五井正憲・今西英雄 1990. 「花卉の開花調節」養賢堂, 東京. p 40-42.
中野 馨・飯沼一元・桐谷 滋・ニューロンネットワーク 1989. 「入門と実習 ニューロコンピュータ」技術評論社, 東京. p 64-79.
鶴島久男 1983. 「花卉園芸ハンドブック」養賢堂, 東京. p 446-447.