

## 環境変化を考慮した植物の生育システムに対する一考察

### A Study on the Plant Growth System with Changes in the Environment

大塚 文雄\* 不破 勝彦\*\*

Fumio Otsuka Katsuhiko Fuwa

#### Summary

In this paper, for the plant growth system which is similar to growth system of human beings, the influence of which changes in the environment are exerted upon the system is discussed. From experimental results, it is cleared that the main factors which determine the plant growth characteristic are temperature, atmospheric pressure, and day length and the early summer is the best season for growing plant.

キーワード：環境変化、生育特性、Sカーブ特性、最大生育量、正規分布、最適条件

Keywords: environmental variation, growth characteristic, sigmoid curve, maximum amount of growth, normal distribution, optimal condition

#### 1. はじめに

近年、我々人間を取り巻く自然、社会、家庭環境において様々な変化が現れてきている。たとえば、図 1 に示すように、自然環境では、人間の行動に関係なく起こっている自然環境の変化<sup>(1)</sup>、地球の環境を決める気象、気候の変動<sup>(2)</sup>などがある。社会環境では、人口動態の変化、技術革新によって生じる変化、その結果としてもたらされるビジネス、生活スタイルなどの変化（グローバル化、欧米化、情報化社会）があり、それに伴う社会構造、生活習慣、様式の変化などがある。家庭環境では、核家族のため 1 人で過ごす時間の増加などがある。また、上記の様々な環境変化に依るストレスを受けて、人間個々の心身にも影響が出始めている。具体的には、自動車の普及で運動量が減り、欧米化した食生活に加え、運動不足、睡眠不足などによる身体的ストレス、情報化社会、人間関係などに伴う精神的ストレス、気象、気候の変化による物理的ストレス等が加わり生活習慣病、現代病「糖尿病、高血圧、がん」<sup>(3)</sup>「うつ病」「五月病」が増加してきた。特に、「うつ症状」<sup>(4)</sup>や「パニック障害」、「自閉症」などの心

の病も増加し、年間約 3 万人もの自殺者のうち「うつ病」の人が 2 割も占めている<sup>(5)</sup>。これらが切欠で、社会犯罪の増加、心身の喪失へと繋がっていく可能性も考えられる。

種々の環境変化や異常気象（猛暑、大雨）のような過度の環境変化である外乱変化による人間へのストレスの影響度合の解析や変化適応については、勿論、自

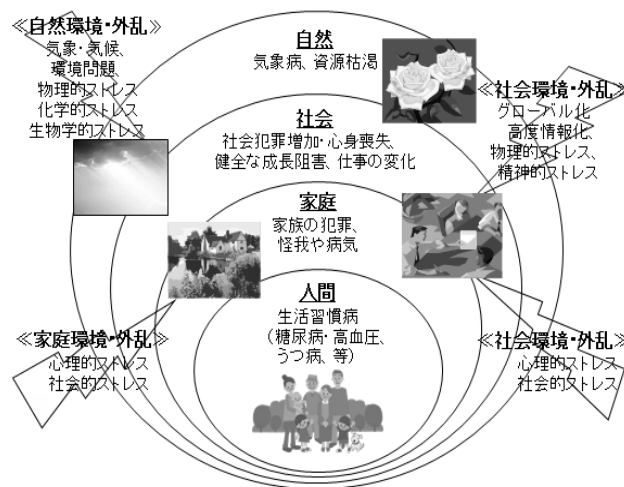


図 1. 人間を取り巻く様々な環境と外乱

\* 有限会社ハーネット

\*\* 情報学部情報システム学科

然、社会、家庭等の環境に伴う複雑なストレスの組み合わせにより異常な事態に至ると予想されるが、自然環境である気象の変化だけでも人間の健康や病気への影響があるとされている。しかし、どの自然環境要因がどれだけ人間の成長や病気に関与しているのかは十分に明らかにされているとは必ずしもいえないため、より定量的な掘り下げが必要であると思われる<sup>(6)(7)(8)</sup>。

そこで、本稿では、最近の異常気象、災害で注目されている自然環境、特に気象、気候に着目し、これらの分野におけるどの環境要因の変化が人間の成長に影響を及ぼすか考察することを目的とする。考察するにあたり、人間での実験検証が困難な場合も想定されるので、実験やサンプル入手の容易さや社会、家庭環境の影響が少なく、自然環境の影響の受け易さの観点から、人間の成長システムと類似性があると想定される植物を対象に実験検証を行う。具体的には、自然環境の中のどの環境要因（気温、気圧、etc.）が、植物の生育システムに影響を与える<sup>(9)</sup>ことを明らかにする。

本稿の構成は以下のとおりである。第2章では、環境および外乱変化に基づき人間の成長システムと植物の生育システムの比較を行なう。第3章では、植物の生育システムの基本であり、植物の内部要因の潜在的な特性でもある生育特性の概要を把握するための実験をする。さらに、実験により得られた植物の生育特性をまとめ、人間の成長特性がSカーブ特性（シグモイド曲線）を描く<sup>(10)(11)(12)</sup>と同様に植物の生育特性もSカーブ特性を描く<sup>(13)</sup>ことを検証する。第4章では、植物の生長係数を推定し、それを決定するパラメータ要因を把握する。第5章では、植物の生育特性の最大生育量を定める主要因を抽出し、最大生育量と主要因との相互関係を検証する。第6章では、植物の生育量の変化量が最大となる条件を検証する。第7章はまとめである。

## 2. 人間成長と植物生育の比較

人間と植物には、DNA合成、翻訳にかかわる遺伝子、生育過程など類似性がある<sup>(14)(15)</sup>。そこで、本章では、植物の生育システムと自然環境要因との関係について調査、実験、検証を行い、人間の成長システムと植物の生育システムの比較を環境変化、外乱変化を含めた自然環境要因（気象、気候、等）を通じて実施し、その結果を人間の成長システムに適用する。

人間の成長システムと自然環境の関係性を解明するのに、人間と類似性のある植物で代用する。それは、両者を潜在的な特性と環境、外乱の観点から比較すると、相違点もあるが共通点も多いからである。それらの詳

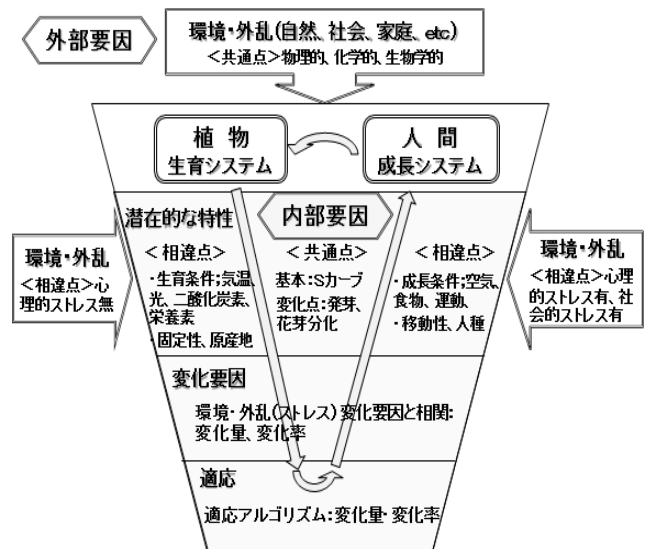


図2. 人間の成長システムと植物の生育システムとの比較

細を図2に示す。図2では、植物の生育に必要な様々な自然環境要因を、潜在的な特性（植物の内部要因）と外乱とストレス（植物の外部要因）に分類した。ここでは、外乱は自然環境の中の過度の環境変化（たとえば、猛暑、害虫）を意味する。ストレスは、その外乱の中でも植物に歪みの状態を生じさせる要因（たとえば、台風、ゲリラ豪雨）を想定している。

内部要因の潜在的な特性の共通点は、成長、生育特性がSカーブ特性を描き、相違点は、植物の生育条件にとって、光、気温、水、二酸化炭素、栄養素が重要で、人間の成長条件にとっては、空気、食物、運動が重要である。また、外部要因の外乱、ストレスの共通点は、物理的、化学的、生物学的、社会的要因があり、相違点は、植物には心理的ストレスがないのに対して人間には心理的ストレスがある。

図3に示すように、植物（ハーブ）の生育過程は、種植に始まり、発芽、花芽分化（中性植物では変曲点）を経て花を咲かせ、やがて結実し種を作り枯れる<sup>(16)</sup>。

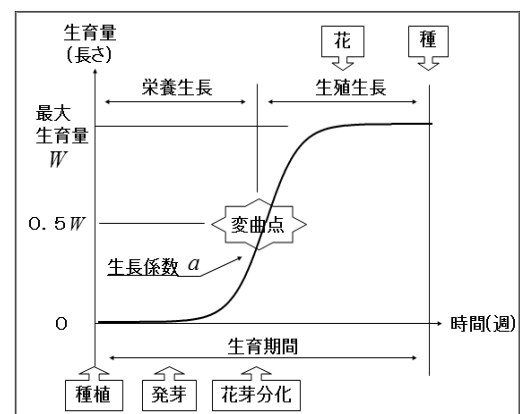


図3. 生育特性（成長特性）

### 3. 植物の生育特性

本章では、植物の生育特性が人間と同様に S カーブ特性を描くことを確認する。

#### 3.1 方針

本稿では、対象とする植物としてハーブを選定した。その理由は、

1) 数種類の植物(野菜やハーブ)にて、生育のしやすさや再現性の容易さを事前に確認している。

2) ハーブの生育は、ばらつきが少なくかつ枯れにくく野菜より確実に育てやすい。

ためである。また、自然環境の気象、気候等の各種要因を絞り込んで限定することなく、任意に幅広く変化させるために、種植時期(スタート月)を年、季節毎に変化させて、生育特性の違いをより明確にできるようにし、パラメータの決定要因を推定しやすくした。

#### 3.2 サンプル

アジア原産かつ短日植物の代表品種としてシソ、バジルを、ヨーロッパ原産かつ中性植物の代表品種としてディル、チャイブを選出した。年、スタート月ごとのサンプル数は各 1 個とした。各サンプルの比較(生育量、生育期間、適温および原産地)を表 1 に示す。

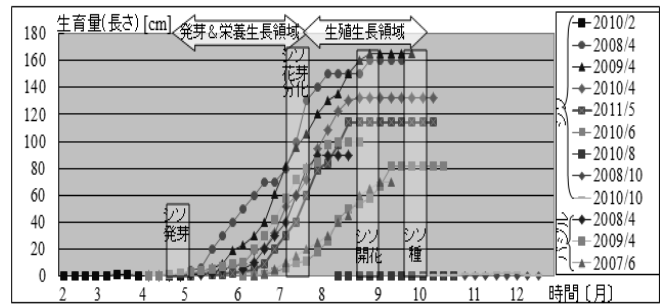
#### 3.3 実験方法・条件

4 種類の植物(ハーブ)の生育量(長さ)を毎週日曜日に測定し、測定器具は 100 [cm] 竹尺を使用した。生育期間は、種植～発芽～種までの期間とし、生育条件の気温、光、水を必要に応じ制御するが、二酸化炭素、栄養素等は制御しなかった。特に気温に関して、年、季節による変動を確認できるように、以下のとおり年毎に種植時期(スタート時期)を変える。

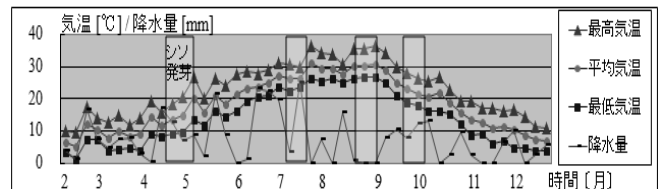
- ・ 2 月(暖くなる時期) ……2010 年
- ・ 4 月(通常) ……2008 年、2009 年、2010 年
- ・ 5 月(暑くなる時期) ……2011 年
- ・ 6 月(梅雨の時期) ……2007 年、2010 年
- ・ 8 月(暑い時期) ……2010 年

表 1. サンプル一覧表

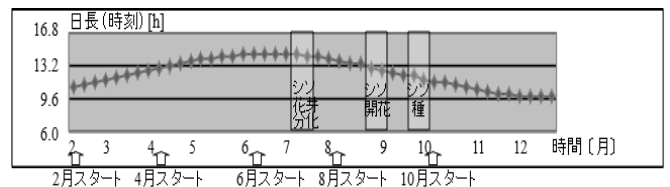
区分	種類	生育量(長さ)[標準] 原産地	種植/生育期間[標準]	適温
アジア原産 短日植物	シソ	60~100cm 中国、日本	春まき(4,5月) 葉1ヶ月、花3.5ヶ月、種5ヶ月	発芽:15~25℃ 生育:20~25℃
	バジル	50~80cm インド	春まき(5,6月) 葉1ヶ月、花2ヶ月、種4ヶ月	発芽:20~25℃ 生育:20~25℃
ヨーロッパ原産 中性植物	ディル	60~100cm 地中海沿岸	春まき(3,4,5月)、秋まき(9,10月) 葉1ヶ月、花2ヶ月、種2.5ヶ月	発芽:15~20℃ 生育:18~25℃
	チャイブ	20~30cm ヨーロッパ	春まき(3,4月)、秋まき(9,10月) 葉1ヶ月、花3ヶ月、種3.5ヶ月	発芽:15~20℃ 生育:15~20℃



(a) 各スタート時期のシソとバジルの生育特性(2007~2011)



(b) 各スタート時期の気温・降水量特性(2010)



(c) 各スタート時期の日長特性(2010)

図 4. シソとバジルの生育特性と各気象の年変化

・ 10 月(寒くなる時期) ……2008 年、2010 年  
ただし、年、スタート月に応じ、サンプルの種類は異なる。

各種環境データ(気温、気圧、等)については、岐阜地方気象台のデータ(測定地点:岐阜市)を参照した(17)。

#### 3.4 実験結果

##### 3.4.1 短日植物の場合

図 4 に、短日植物であるシソとバジルの生育特性と気温、降水量、日長の年変化を表す。ここでは、生育

表 2. シソとバジルの生育特性の特性値

種類	スタート年月	生育量[cm]	生育期間[週]	花芽分化	開花時期	種時期	
シソ	2月 2010	0(生育せず)	—	—	—	—	
	4月	2008	160	24	7月/2週目	—	9月/4週目
		2009	165	24	7月/2週目	9月/1週目	10月/1週目
		2010	132	※27⇒24	7月/3週目	※9月/3週目 ⇒8月/5週目	※10月/3週目 ⇒9月/4週目
	5月 2011	114	*23⇒21	7月/3週目	*9月/3週目 ⇒9月/1週目	*10月/3週目 ⇒10月/1週目	
	6月 2010	82	※19⇒16	7月/3週目	※9月/4週目 ⇒9月/1週目	※10月/4週目 ⇒10月/1週目	
	8月 2010	0(発芽せず)	—	—	—	—	
10月 2008	0(発芽せず)	—	—	—	—		
10月 2010	0(生育せず)	—	—	—	—		
バジル	4月 2008	90	15	7月/2週目	7月/4週目	8月/2週目	
	2009	100	18	7月/1週目	7月/2週目	8月/3週目	
	6月 2007	65	※11⇒8	7月/3週目	※8月/4週目 ⇒8月/1週目	※9月/1週目 ⇒8月/3週目	

量(長さ)は1回/週の測定値を、気温、降水量、日長は毎週測定日ごとの気象台のデータを表す。

表2に、各スタート時期と生育特性の特性値を示す。シソは、以下の過程を経て生育し、各過程で特徴を有する。

《生育過程(2007~2010年)》

図4と表2に示すように、4月2週目に植えた種は、最高気温が約18[°C]を超える4月4~5週目ごろに発芽する。そして、平均気温が25~31[°C]、日長が14.1~14.4[h]、降水量が0~25[mm]となる7月2~4週目に花芽分化する。なお、種植時期が4、6月では、この花芽分化の時期が最大生育量の50[%]の変曲点と一致する。この種植から花芽分化の間は、栄養生長する<sup>(16)</sup>。また、花芽分化から、8月5週目~9月1週目の開花時期まで生殖生長する。

また、表2に示すように、2010年の生育期間、開花時期、種時期は、生殖生長段階で、猛暑(35[°C]以上)の期間分3週間遅れた。また、2011年の生育期間、開花時期、種時期は、生殖生長段階で、猛暑の期間分2週間遅れた。

《特徴》

- ・2010年4月スタートのシソでは、猛暑のため生育鈍化し、そのため最大生育量が例年より低い。
- ・2010年8月スタートのシソでは、猛暑のため発芽しなかった。
- ・2010年10月スタートのシソでは、最高温度20[°C]位で発芽はするが、生長時期が過ぎているため生育しない。

以上のことより、短日植物のシソ、バジルは、猛暑による遅れ補正をした場合、花芽分化時期、開花時期、種時期がほぼ一致することがわかる。また、短日植物のシソ、バジルには昼の長さ(日長)変化を感知し反応する光周性があり<sup>(18)</sup>、中性植物のディールとは異なり、日長(時刻)に基づいて花芽分化し生育する。

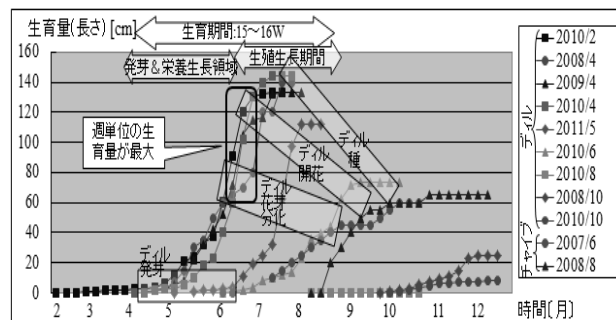
3.4.2 中性植物の場合

図5に、ディール、チャイブ生育特性と気温、降水量、日長の年変化を表す。

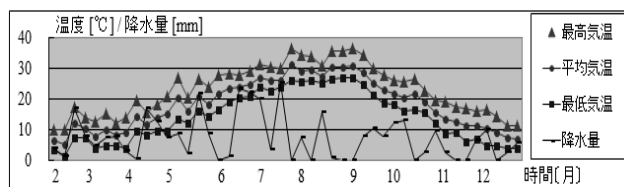
表3に、各スタート時期と生育特性の特性値を示す。《生育過程および特徴》

図5と表3に示すように、2~6月スタートのディールは、種植した時期により発芽時期が異なる。そして、平均気温が22~30[°C]、日長が13.3~14.6[h]、降水量が0.6~23.2[mm]となる6月2週目~8月4週目に花芽分化する。栄養生長では、生育気温範囲であれば生育特性に従う。また、生殖生長では、猛暑のように温度が高いと生長しない。

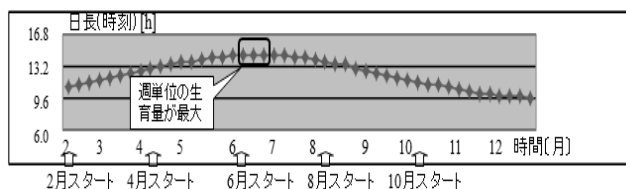
- ・2010年6月スタートのディールでは、猛暑のため生育



(a) 各スタート時期のディールとチャイブの生育特性(2007~2011)



(b) 各スタート時期の気温・降水量特性(2010)



(c) 各スタート時期の日長特性(2010)

図5. ディールとチャイブの生育特性と各気象の年変化

が鈍化し、そのため最大生育量が例年より低い。

- ・2010年8月スタートのディールでは、猛暑のため発芽しなかった。
- ・2010年10月スタートのディールでは、開花しなかったので参考データとした。

以上のことより、ディールの生育期間は、2010年6月スタートで猛暑による遅れ(3週間)、低温による遅れ(8週間)を補正した場合、種植時期が2、4、5、6月の生育期間が15~16週間と一定である。チャイブの生育期間も18週間と一定である。

表3. ディールとチャイブの生育特性の特性値

種類	スタート年月	生育量[cm]	生育期間[週]	花芽分化	開花時期	種時期	
ディール	2月 2010	133	*23=15	6月2週目	7月1週目	7月4週目	
	4月	2008	140	15	6月4週目	7月2週目	7月4週目
		2009	133	15	6月3週目	7月1週目	8月1週目
		2010	144	16	6月3週目	7月1週目	8月1週目
	5月 2011	112	15	7月4週目	8月1週目	8月4週目	
	6月	2010	73	*18=15	8月4週目	*9月3週目 ⇒8月15週目	*10月3週目 ⇒9月4週目
		8月 2010	(発芽せず)	-	-	-	-
		10月	2008	25(花・種出来ず)	-	11月4週目	-
	2010		(生育せず)	-	-	-	-
チャイブ	6月 2007	60	18	8月3週目	-	10月3週目	
	8月 2008	65	18	9月3週目	-	12月3週目	

### 3.4.3 実験結果のまとめ

生育特性の基本特性についてまとめると、

- ①4種類ハーブは、いずれもSカーブ特性を描いている。
- ②短日植物(シソ、バジル):花芽分化時期は光周性(時刻)に従い、花芽分化時期は同じであるが、変曲点は一致しない。
- ③中性植物(ディル、チャイブ):花芽分化時期は光周性に従わず、種植時期(時間)の影響を受け、生育期間が同じである。花芽分化時期は異なるが、変曲点はほぼ一致する。
- ④両者の生育特性は時刻変化と時間変化で差がある。

### 3.5 変化点

表3と図5で示すように、植物の生育は、種植、発芽、花芽分化、開花、そして種を経て一生を終える。各過程が、それぞれ変化点であり自然環境、気象の特定の要因の影響を受ける。発芽は周囲気温に依存し、シソ、ディルの発芽時の気温は約20[°C]である。短日植物のシソ、バジルの花芽分化は、特定の日長で開始される<sup>(19)</sup>。また、中性植物のディルの花芽分化は、変曲点付近で発生する。

## 4. 生育特性の生長係数の推定と主要因の抽出

3.2節で選出した4種類の植物がSカーブ特性に従うことを検証し、次に関数の生長係数および最大生育量を決定するパラメータ決定要因の抽出と相互関係を検証する。

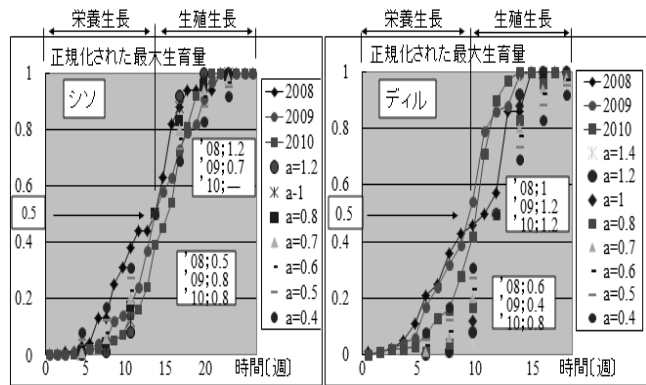


図6. 生長係数の推定

表4. 生長係数 a 一覧表

	2月スタート(2010)		2月スタート(2008~2010)		6月スタート(2010)		8月スタート(2008)	
	栄養	生殖	栄養	生殖	栄養	生殖	栄養	生殖
シソ	-	-	0.5~0.8	0.7~1.2	0.6	0.7	-	-
ディル	0.5	1.2	0.4~0.8	1~1.2	0.5	0.8	(0.4)	(0.7)

## 4.1 生長係数の推定

図6に示すように、4月スタートのシソ、ディルの生育特性が、Sカーブ特性(シグモイド関数)

$$w(t) = \frac{W}{1 + e^{-at}} \dots\dots\dots(1)$$

で記述されることを検証する。ただし、

$w(t)$ :生育量、 $a$ :生長係数、 $W$ :最大生育量、 $t$ :時間である。生長係数 $a$ は、正規化したシグモイド関数

$$S(t) = \frac{1}{1 + e^{-a(t-t_n)}} \dots\dots\dots(2)$$

より推定する。ただし、

$t_n$ :正規化された生育量が0.5となる時間である。生長係数 $a$ を推定する手順は、

- ①シソ、ディルの2008~2010年の週単位で測定した生育量(長さ)を各最大生育量で正規化してプロットする。
- ②生長係数 $a$ を1前後で任意に変えながら、(2)式で求めた値と正規化した生育量とが一致する値を求める。
- ③両者が一致した時の値を生長係数 $a$ とする。さらに、同様な方法で2月、6月、10月スタート時において得られた生長係数 $a$ の値を表4にまとめる。

この結果、シソ、ディルの生育特性は、(2)式にほぼ従うことがわかった。ただし、そのときの生長係数 $a$ の値は栄養生長段階で0.4~0.8、生殖生長段階で0.7~1.2であり、栄養生長段階の生長係数は生殖生長段階の生長係数より小さい。

## 4.2 生長係数の主要因の抽出

生長係数 $a$ が栄養、生殖の各段階で異なるため、段階毎に気象要因(気温、気圧、etc.)別に関係を検証した。その結果、生長係数 $a$ は気温依存性があり、気温と共に高くなる。図7より、降雨量、日照時間等の影響が少なく、生長係数 $a$ はほぼ一定であることが確認される。

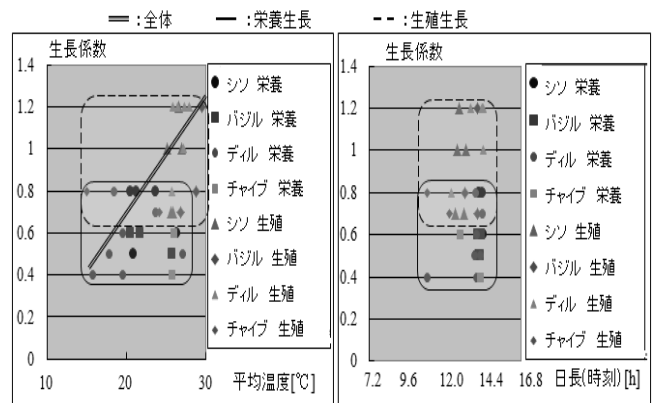


図7. 生長係数と平均気温/平均日長

## 5. 生育特性の最大生育量 $W$ と主要因との関係

### 5.1 方針

3.2節で選出した4種類の植物において、次の2ステップにより最大生育量の主要因と最大生育量との相互関係を求める。自然環境要因として気温、湿度、気圧、降水量、日長(時刻)を取り上げた。自然界の事象は、十分な標本数をとれば正規分布に近づき、今回の4種類の植物の最大生育量と各気象量との関係も正規分布になると予想される。

最大生育量と各要因の全生育期間の平均値との相互関係から、最大生育量の度合いを決定するパラメータ要因になるのかを検証する。

要因と判断された主要因と最大生育量との相互関係を求める。植物の最大生育量は、植物の種類により異なるため、各植物の最大生育量の上限值で正規化し、最大値を1で統一する。シソの上限值は165 [cm] を、ディルの上限値は149 [cm] を各々採用した。さらに、シソの5,6月スタートおよびバジルの6月スタートは、4月スタートに比べ栄養生長期間が不十分ため解析から除外した。

具体的な検証手順は、

- ①最大生育量を各々の最大上限値で正規化する。
- ②正規化された最大生育量から相関の式

$$Y = e^{-b(X-c)^2} \dots\dots\dots (3)$$

に従う各パラメータ  $b$ 、 $c$  を推定する。ただし、

$Y$  : 正規化された最大生育量、 $X$  : 各要因値、

$b$  : 傾き、 $c$  : 最適値(最大生育量が最大となる要因値)

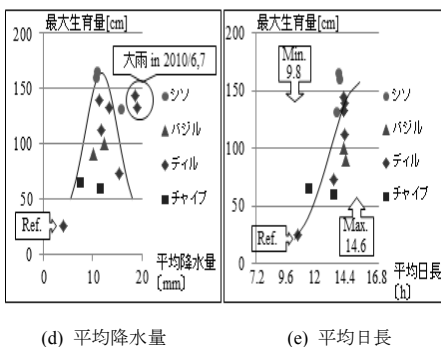
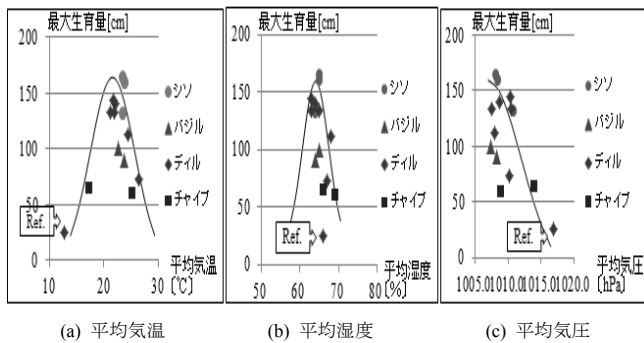


図8. 最大生育量と全生育期間の各平均値との関係

である。

③正規化された最大生育量が、 $Y \geq 0.8$  を満たすような気象の要因値を最適条件とし、その最適条件を確認する。

### 5.2 結果

自然環境の気象の影響を受けるすべての植物の生育特性の最大生育量は、自然界の事象同様、気温、気圧の変化などの大気の状態を示す気象の正規分布に従うと考えられる。それゆえ、本節では4つの植物について正規分布の立場から結果を考察する。

図8は最大生育量と各気象量との相関を示したものである。この結果より、

- ①最大生育量は、全生育期間の平均気温に対して正規分布、同じく平均湿度に対して正規分布の傾向が各々みられる。平均気圧に対して負の片側正規分布の傾向がみられる。
- ②平均降水量に対して正規分布、日長(時刻)に対し

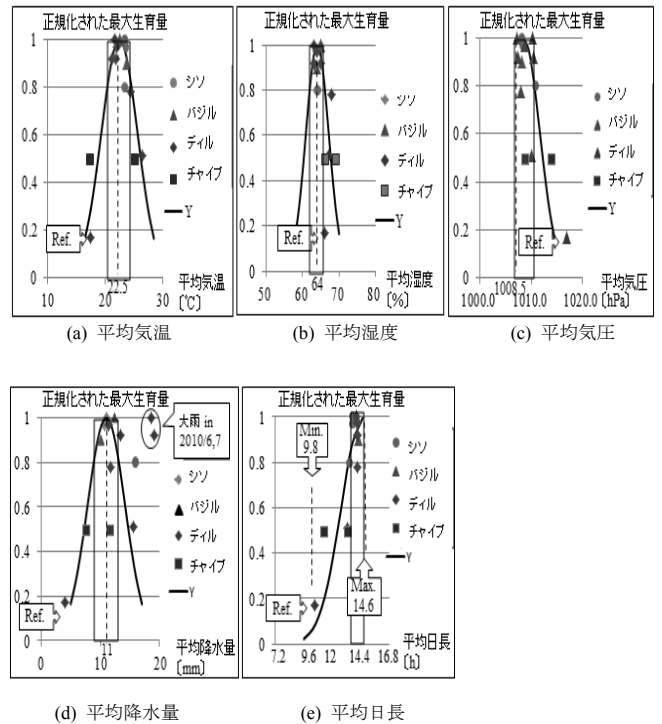


図9. 正規化された最大生育量と全生育期間の各平均値との関係

表5. 正規化された最大生育量と各要因の相関表

要因	相関式 $Y = \exp\{-b(X-c)^2\}$			
	関数	相関係数	最適値 ( $Y = 0.8 \sim 1$ )	有効範囲
気温 [°C]		$b = 0.05$ $c = 22.5$	20.5 ~ 24.5	15 ~ 30 (全幅:15)
湿度 [%]		$b = 0.05$ $c = 64$	62 ~ 66	56 ~ 72 (全幅:16)
気圧 [hPa]		$b = 0.05$ $c = 1008.5$	1008.5 ~ 1010.5	1008.5 ~ 1016.5 (片幅:8)
降水量 [mm]		$b = 0.15$ $c = 14.6$	13.4 ~ 14.6	9.8 ~ 14.6 (片幅:5)
日長 [h]		$b = 0.05$ $c = 11$	9 ~ 13	3 ~ 19 (全幅:16)

て正の片側正規分布の傾向が各々みられる。

ここで、正の片側正規分布とは、正規分布の右上がりの片側の分布を、負の片側正規分布とは、正規分布の右下がりの片側の分布とする。

図9および表5は正規化された各気象量との相関および相関式を示したものである。これらに結果より、

①正規化された最大生育量は、平均気温に対して正規分布に従い、生育期間内で正規化された最大生育量が最大となる平均気温は22.5 [°C] であり、傾きは $b=0.05$ である。

②平均湿度に対して正規分布に従い、生育期間内で正規化された最大生育量が最大となる平均湿度は64 [%] であり、傾きは $b=0.05$ である。

③平均気圧に対して負の正規分布に従い、生育期間内で正規化された最大生育量が最大となる平均気圧は1008.5 [hPa] であり、傾きは $b=0.05$ である。

④平均降水量に対して正規分布に従い、生育期間内で正規化された最大生育量が最大となる平均降水量は11 [mm] であり、傾きは $b=0.05$ である。

⑤平均日長に対して正の正規分布に従い、生育期間内で正規化された最大生育量が最大となる平均日長は14.6 [h] であり、傾きは $b=0.15$ である。

以上をまとめると、

1) 正規化された最大生育量は、気温、湿度、降水量に対して正規分布に、気圧に対して負の片側正規分布に、そして日長に対して正の片側正規分布に各々従う。これら気温、気圧などの要因は、最大生育量と相互関係にあるといえる。日長の傾きが大きいのは、有効範囲が他の要因に比べ狭いことに起因するからだと考えられる。

2) 最大生育量の上限值で正規化されている正規分布は、正規化されていない正規分布よりばらつきが少ないといえる。

3) 各平均気温は各期間（生育期間、栄養期間、生殖期間）での平均気温であり、これらは必ずしも一致しない。それは、気温は8月をピークとする曲線で近似され（図10(c)参照）、期間によりその平均値が異なるためである。また、気温、日長は年による差は小さいが、湿度、気圧、降水量には年による差が存在する。

### 5.3 最大生育量と最適条件と最悪条件

最適条件 ( $Y \geq 0.8$ ) は、気温、湿度、降水量が最適、気圧が最小そして日長が最大の時で、具体的には、気温が20.5~24.5 [°C]、湿度が62~66 [%]、気圧が1006.5~1010.5 [hPa]、日長(時刻)が13.4~14.6 [h]、そして降水量が9~13 [mm] であり、この最適条件を満たす時期は、6~7月に相当する（図10参照）。

$Y \leq 0.2$  を満たすような気象の要因値を最悪条件とし、その最悪条件は、気温が低く、降水量が少なく、湿度、気圧が高く、そして日長が最小の時で、具体的には、気温が17 [°C] 以下、湿度が69.5 [%] 以上、気圧が1014.5 [hPa] 以上、日長が10.3 [h] 以下、そして降水量が5.5 [mm] 以下であり、この最悪条件を満たす時期は、11~2月に相当する（図10参照）。

## 6. 生育特性の最大生育変化量の検証

本章では、最大生育変化量の時期はいつか、それは花芽分化時期と一致するか、最適条件の時期と一致するか、中性植物と短日植物で異なるかを各々検証する。

図10はディルの最大生育量の上限值で正規化した最大生育変化量（月単位）と平均気温、平均気圧、平均日長との関係を示す。この結果により、最大生育量の上限值で正規化した最大生育変化量は、ディルの場合、6月で、日長が最大、気圧がほぼ最小の時であり、最適条件と一致することがわかる。

図11(a)はディルのスタート月毎の最大生育量で正規化した最大生育変化量（月単位）を示す。この結果により、ディルの個々の最大生育量で正規化した最大生育変化量は、4月スタートでは6月、5月スタートで

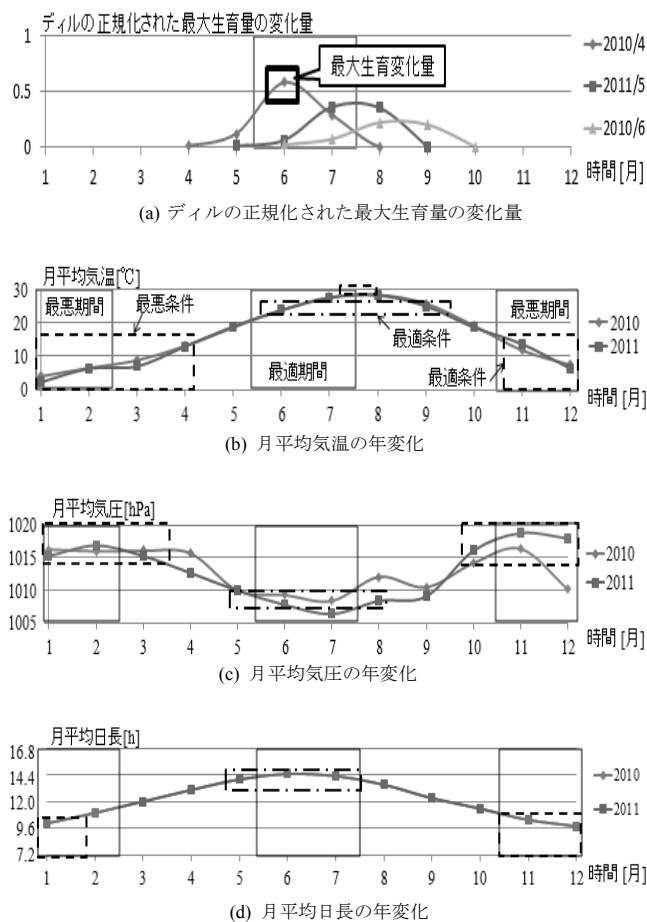
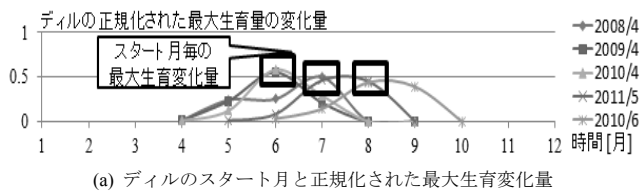
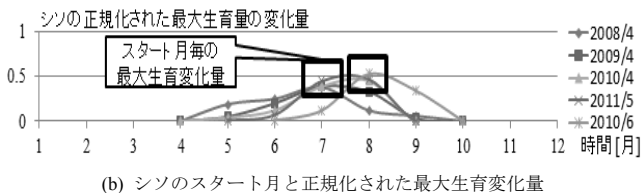


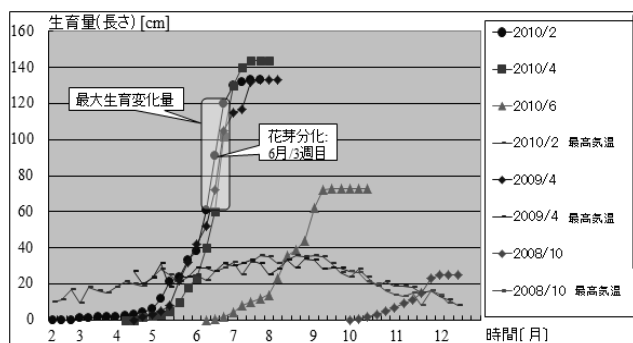
図10. ディルの最大生育変化量と各要因の最適条件/最悪条件



(a) ディルのスタート月と正規化された最大生育変化量



(b) シソのスタート月と正規化された最大生育変化量



(c) ディルの生育特性の変化点

図 11. シソとディルの最大生育変化量

は7月、6月スタートでは8月で、種植から約2ヶ月後であることがわかる。

図 11(b) はシソのスタート月毎の最大生育量で正規化した最大生育変化量(月単位)を示す。この結果により、シソの個々の最大生育量で正規化した最大生育変化量の時期は、4月スタートでは7、8月で、約4ヶ月後であることがわかる。いずれも最大生育変化量の時期は、生育期間の中間点(変曲点)付近であり、最適条件の時期とほぼ一致することを示す。

図 11(c) はディルの週毎の最大生育変化量を示す。この結果により、最大生育変化量(週単位)はディルの場合、花芽分化(4月スタートでは6月3~4週目)の0~2週間後(6~7月)であることがわかる。シソの場合、花芽分化(4月スタートでは7月2~3週目)の1~3週間後である。

これらの実験結果より、以下のことがわかる。

- ①最大生育変化量の時期は、種植時期がディルで4~6月、シソで4月であれば最適条件の時期と一致する。
- ②最大生育変化量の時期は、シソ、ディルともに花芽分化後0~3週間後で発生する。
- ③最大生育変化量の時期は、中性植物のディルでは種植から2ヶ月後であるが、短日植物のシソでは7、8月で発生時期が同じであり、差はあるといえる。

## 7. まとめ

本稿では、自然環境の変化が人間の成長に影響を与えることを人間の成長システムと類似性がある植物を対象に調査、実験、検証を行なった。植物の生育システムの重要な要素である生育特性および生育特性を決定する主要因とその関係についても考察した。その結果以下のことが分かった。

(1)4種類の植物(シソ、バジル、ディル、チャイブ)の生育特性はSカーブ特性を描くことを確認した。その特性から以下の2つがわかった。

①短日植物のシソ、バジルは、猛暑による遅れ補正をした場合、花芽分化時期、開花時期、種時期および最大生育変化量の時期がほぼ一致する。

②中性植物のディル、チャイブは、猛暑、低温による遅れ補正をした場合、生育期間が一定である。花芽分化時期が中間点、変曲点とほぼ一致する。

(2)生育特性を決定するパラメータには生長係数と最大生育量がある。短日植物、中性植物に関係なく、以下の3つがわかった。

①シソ、ディルの生長係数は、生殖生長段階が栄養生長段階より大きく、気温依存性がある。

②最大生育量と気温、湿度、降水量が正規分布、気圧が負の片側正規分布、日長が正の片側正規分布に従う。

③植物の生育には、特に、気温、気圧、日長が重要であり、気温が最適、気圧が最小、日長が最大である最適条件が植物の最も生育する時期である。それは、6~7月に相当する。

今後は、この結果をもとに人間の特性を考慮した工学への応用を考えていきたい。

## 参考文献

- 1) 環境省生物多様性センター：自然環境の変化と長期生態観測、モニタリングサイト1000、pp.2-8(2006-7)
- 2) 文部科学省 気象庁 環境省：気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート『日本の気候変動とその影響』(2012年度版)、pp.11-28(2013-3)
- 3) 厚生労働省：平成22年国民健康・栄養調査結果の概要、pp.3-13(2010-1)
- 4) 貝谷 久宣：現代人に影を落とす「新型うつ病」とは、imidias SPECIAL、世界と日本の地勢を読み解く時事力、pp.124-125(2008-11)
- 5) 内閣府：特集 自殺統計の分析、平成25年版自殺対策白書、pp.17(2013-6)
- 6) 西村 督人：死亡率の季節変動についての一考察、社団法人日本アクチュアリー会会報、64、分冊1、



- pp.81-105 (2011-2)
- 7) 村山 貢司：気象病 天候が健康を脅かす、  
pp.103-105(2006-8)
  - 8) 村山 貢司：病は気象から、pp.150-156(2003-2)
  - 9) D.A. Dieriga、N.R. Adama、B.E. Mackeyb、G.H. Dahlquista and T.A. Coffelta：“Temperature and elevation effects on plant growth, development, and seed production of two Lesquerella species”、Industrial Crops and Products、 Vol.24、No.1、 pp.17-25 (2006-7)
  - 10) 増山 元三郎：成長の個体差、pp.62-69 (1994-10)
  - 11) 田井村 明博：縦断的身長発育曲線の推定、長崎大学 教養部 紀要 . 自然科学 篇 . 33(2) 、  
pp.123-131(1993-1)
  - 12) 厚生労働省：平成 20 年国民健康・栄養調査報告、  
第 3 部 身体状況の調査、pp.184(2011-1)
  - 13) 阿部 弘、阿部 潤：市在来サトイモ‘二子いも’  
組織培養苗に関する研究 第 I 報地上部生育の経時的  
推移、岩手農研セ研報、9、pp.43-50(2009-9)
  - 14) 長谷部 光泰：発生進化の分子機構：動物と植物の  
共通性と多様性、蛋白質 核酸 酵素、Vol.46、No.10、  
pp.1321-1322(2001-10)
  - 15) 初山 洋介：日本語は人間をどうみているか、pp.14、  
pp.43(2006-9)
  - 16) 農山漁村文化協会：発育相、花卉園芸大百科 1 生  
長・開花とその調整、PP.3-7(2002-1)
  - 17) 岐阜地方気象台：岐阜県の気象・地震概況(2007 年  
01 月-2011 年 12 月) 、 pp.7(2007-2012-1)
  - 18) 沼田 英治：生きものは昼夜をよむ 光周性のふし  
ぎ、pp. 65-96(2000-6)
  - 19) 農山漁村文化協会：花芽分化、花卉園芸大百科 1 生  
長・開花とその調整、pp.113-160(2002-1)