

九州沖縄農業研究センター都城研究拠点におけるサツマイモの収量 およびでん粉含量と気象条件の関係

田中勝・小林晃・甲斐由美・境哲文・田淵宏朗・高畑康浩¹⁾

(2017年8月17日 受理)

要 旨

田中勝・小林晃・甲斐由美・境哲文・田淵宏朗・高畑康浩：九州沖縄農業研究センター都城研究拠点におけるサツマイモの収量およびでん粉含量と気象条件の関係。九州沖縄農研報告 67：35-46, 2018.

九州沖縄農業研究センター都城研究拠点での育種試験における品種「コガネセンガン」および「シロユタカ」の収量およびでん粉含量の変動と栽培期間中の気象条件（気温、降水量、日照時間）の相関関係について解析した。その結果、収量は無マルチの標準栽培では主に栽培期間中の各月の最高気温や6月から8月の日照時間と正の相関を、6月から8月の降水量とは負の相関を示し、栽培期間を通じて気温が高く梅雨から夏にかけての天候が良い場合に多収となる傾向がみられた。一方、透明マルチを使用した長期マルチ栽培では収量は主に5月および8月以降の気温と正の相関を、8月の降水量とは負の相関を示し、生育初期と生育後半の気象条件が良いと多収になる傾向がみられた。ただし、「シロユタカ」の長期マルチ栽培では収量と気象条件の相関は低かった。一方、でん粉含量は標準栽培では主に8月の日照時間と正の相関が、長期マルチ栽培では8月の最低気温と負の相関が見られ、夏季の気象条件の影響が大きいと考えられた。重回帰分析により収量やでん粉含量の変動に与える気象条件の影響度合いを推定したところ、標準栽培の「コガネセンガン」および「シロユタカ」や長期マルチ栽培の「コガネセンガン」では、収量、でん粉含量ともに年次変動の60%以上が気象条件で説明可能であったが、長期マルチ栽培の「シロユタカ」では収量、でん粉含量ともに気象以外の要因の影響も大きいと考えられた。

キーワード：サツマイモ、気象、収量、でん粉

1. 緒言

サツマイモは地下部に着生する塊根を収穫して利用するため、地上部の子実を利用する穀物などに比べて自然災害の影響を直接的に受けにくいという特徴を持つ。また、塊根は苗の活着から収穫までの期間を通じて肥大を続けるため、特定の時期の気象条件の変動によって収量に大きな影響を受けることは少ない。これらは、サツマイモが古くから救荒作物として利用されてきたことの理由となっている。しかし、他の地域で行われた過去の試験例により、サツマイモの収量も年次間で相当の変動があることが報告されており（西原・福元, 2010; Yoshida, 1985）、収量に比べて安定した形質であることが知られている塊根のでん粉含量についてもある程度の変動がみられる（西原・福元, 2010）。サツマイモにおいて最も基本的な農業形質である収量やでん粉

含量の変動に対する変動要因を明らかにすることは、育種におけるこれら形質の評価の効率化・高精度化や、最適な栽培条件の解明のための研究に役立つと考えられる。

年次間におけるサツマイモの収量やでん粉含量の変動要因としては、栽培に用いる苗や圃場の状態、病害虫の発生状況による変動のほか、気象条件による変動も大きいと考えられ、これまでも生育に及ぼす気象条件の影響についていくつかの報告がある（古明地ら, 1983; 脇門ら, 2002; 西原・福元, 2010; 蔵之内ら, 2010; 角・郡山, 2013）。しかし、同一圃場での長期にわたる栽培試験の結果からサツマイモの生育と気象条件の関係を分析した例は鹿児島県農業開発総合センター大隅支場（鹿児島県鹿屋市）での栽培試験データを解析した西原・福元（2010）を除き見当たらない。

本研究では、サツマイモの収量やでん粉含量の年

次変動に対する気象条件の影響を明らかにするため、九州農業試験場（現九州沖縄農業研究センター）のサツマイモ育種試験が宮崎県都城市に移転された1989年から現在まで、でん粉原料用の標準品種として栽培されている品種「コガネセンガン」および「シロユタカ」について、収量およびでん粉含量と栽培期間中の気象条件との相関関係を解析した。ここでは、栽培条件の違いによる気象条件の影響の違いもみるため、無マルチ栽培で5月中旬に挿苗、10月上旬に収穫されている標準栽培試験区（以下、標準栽培）と透明マルチを用いた栽培で4月下旬に挿苗、10月末～11月上旬に収穫されている長期マルチ栽培試験区（以下、長期マルチ栽培）の両方のデータを用いて解析を行った。

なお、本研究には九州沖縄農業研究センター都城研究拠点におけるサツマイモ育種試験のデータを利用した。これまでに同拠点で育種試験に携われた皆様に謝意を表したい。また、データの解析や論文のとりまとめにあたり、九州沖縄農業研究センター畑作研究領域の小柳研究領域長から多くのご助言を頂いた。ここに記して謝意を表したい。

II. 材料および方法

1. 収量およびでん粉含量のデータと気象データ

品種「コガネセンガン」および「シロユタカ」の収量、でん粉含量のデータは都城研究拠点（宮崎県都城市横市町、北緯 31 度 45.1 分、東経 131 度 0.8 分、標高約 180 m）における1989年から2016年までの28年分のでん粉原料用生産力検定試験の標準栽培および長期マルチ栽培のデータを用いた。

収量は上いも重（50 g 以上の塊根の収量）のデータを、でん粉含量はでん粉歩留りのデータを用いた。ただし、「シロユタカ」は、1996年および1997年には長期マルチ栽培で栽培されていないため、両年の「シロユタカ」の長期マルチ栽培のデータは含んでいない。標準栽培および長期マルチ栽培の栽培条件は第1表に示すとおりであり、でん粉歩留の測定方法は石黒ら（2001）に記載の通りである。

気象データは気象庁の都城特別地域気象観測所（都城市菖蒲原町、北緯 31 度 43.8 分、東経 131 度 4.9 分、標高 154 m）の1989年から2016年までの観測データから、毎年の5月から10月の各月および5月下旬（5月21日～5月31日）の日平均気温（以下、平均気温）、日最高気温（以下、最高気温）、日最低気温（以下、最低気温）、降水量、日照時間の平均値のデータを用いた（気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> よりダウンロード）。また、観測データにおける都市化の影響の有無を見るため、1989年から2016年の都城特別地域気象観測所の月平均気温偏差のデータおよび日本の年平均気温偏差のデータ（都市化による影響が少なく、特定の地域に偏らないように選定された全国15地点の平均値。地点名等は第2図を参照）も利用した。

2. 統計解析

気象データの変動の長期的傾向の統計的な有意性の検定は気象庁の気候変動監視レポート（気象庁、2015）に従い、西暦年と累年の気象データとの相関係数を用いて t-検定を行った。収量、でん粉含量の変動の傾向についても同様に解析した。

第1表 標準栽培および長期マルチ栽培の栽培条件

栽培方法	栽培条件
標準栽培	マルチなし 48 株×3 区 畦幅 71cm×株間 35 cm（1989年～1996年）または畦幅 75 cm×株間 35 cm（1997年～2016年） 5/8～5/21 植付，9/28～10/14 収穫（栽培期間 139～158 日） 施肥量 N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 0.48:0.72:1.20 (kg/a)
長期マルチ栽培	透明マルチ（ポリエチレンフィルム） 40 株×3 区（1989年～1993年）または2区（1994年～2016年） 畦幅 71cm×株間 45 cm（1989年～1992年）または畦幅 75 cm×株間 45 cm（1993年～2016年） 4/17～5/1 植付，10/26～11/7 収穫（栽培期間 179～203 日） 施肥量 N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 0.96:1.44:2.40 (kg/a)

収量およびでん粉含量と気象データの相関係数の計算は、標準栽培では5月下旬および6月から9月の各月の気象データを、長期マルチ栽培では、5月から10月の各月の気象データを用いて行った。また、気温、降水量、日照時間の間には相互に相関がみられる場合が多いため、個々の気象条件の影響をより詳細に検討するために、気象データ間の相関の影響を考慮した偏相関係数の計算も行った。この際、平均気温、最高気温、最低気温については、降水量、日照時間を制御変数として偏相関係数を計算した。また、降水量については平均気温と日照時間を、日照時間については平均気温と降水量を、それぞれ制御変数として偏相関係数を計算した。

重回帰分析は、気象データ間相互の相関による多重共線性の問題を回避するため、各月の平均気温、最高気温、最低気温、降水量、日照時間を主成分分析して得られた第1主成分から第3主成分を説明変数、収量またはでん粉含量を目的変数として、変数増減法によって行った。偏相関係数の計算や主成分分析、重回帰分析にはR ver. 3.2.3 (R Core Team, 2015) を利用した。

Ⅲ. 結 果

1. 収量、でん粉含量および気象条件の年次推移

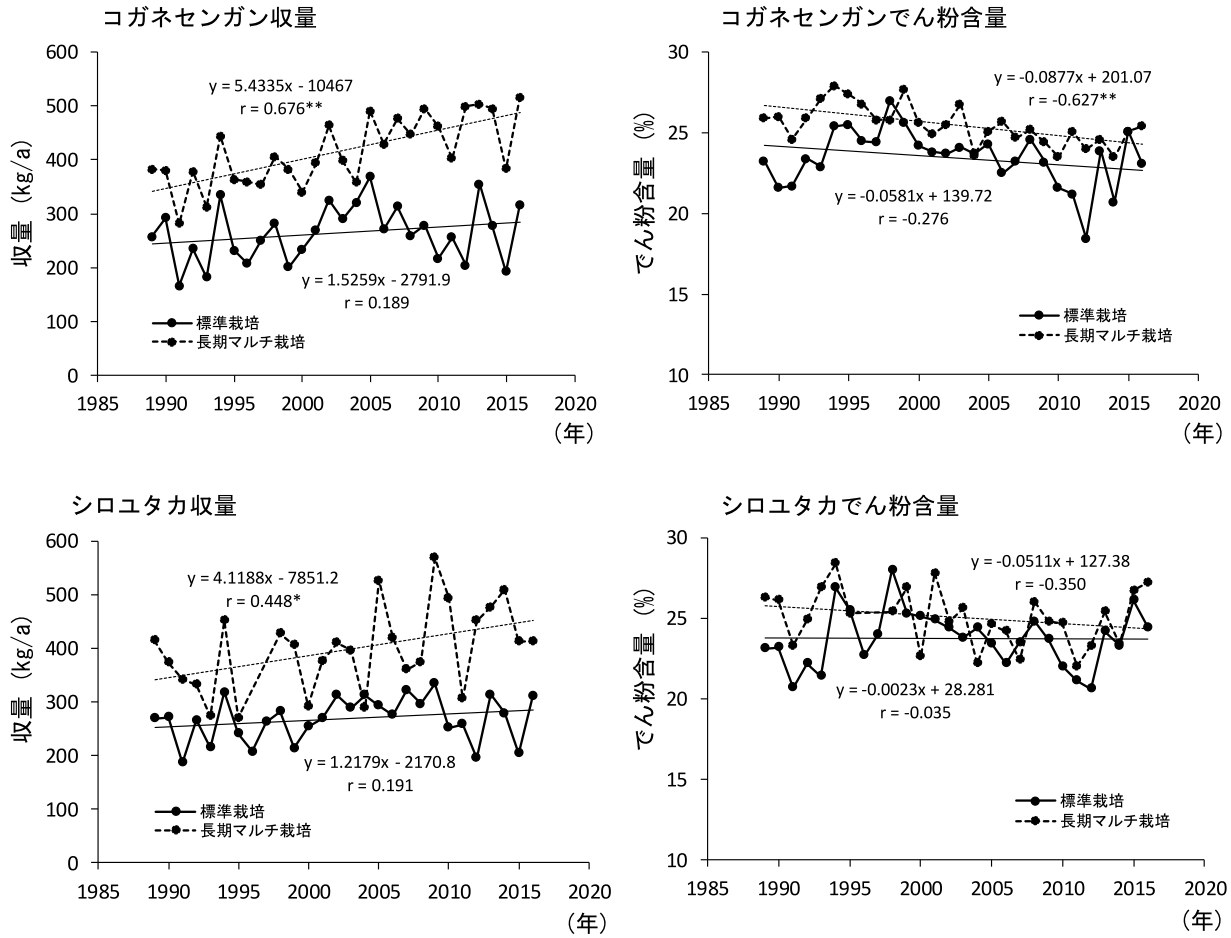
都城研究拠点における1989年から2016年までの「コガネセンガン」および「シロユタカ」の収量、でん粉含量の平均値、最高値、最低値、変動係数を第2表に示した。変動係数で見ると、収量の方がでん粉含量に比べ2～3倍程度年次変動が大きかっ

た。また、品種間の傾向を見ると、標準栽培では「コガネセンガン」が「シロユタカ」に比べて収量の年次変動が大きかったが、逆に長期マルチ栽培では「シロユタカ」が「コガネセンガン」より年次変動が大きかった。でん粉含量については、標準栽培では両品種の年次変動は同程度であったが、長期マルチ栽培では「シロユタカ」の方が年次変動が大きかった。収量およびでん粉含量の年次変化の傾向を解析したところ、標準栽培では「コガネセンガン」、「シロユタカ」ともいずれの形質でも統計的に有意な傾向は認められなかったが、長期マルチ栽培では、「コガネセンガン」で年次とともに収量が増加し、でん粉含量が低下する傾向がみられた。「シロユタカ」でも、年次とともに収量が増加する傾向がみられた(第1図)。

一方、気象データについてみると、1989年から2016年における5月から10月までの平均気温、最高気温、最低気温の平均値は年次とともに有意に上昇する傾向を示していた(第3表)。月別にみると、5月および8月、10月の平均気温、最高気温や8月の最低気温が年次とともに有意に上昇していた。また、6月の降水量は年次とともに増加する傾向が、6月の日照時間は年次とともに減少する傾向がみられた。なお、都城特別地域気象観測所は都城研究拠点から約7 km離れた市街地にあり、1989～2016年までの年平均気温偏差の上昇程度は都市化の影響が少ないと考えられる全国15地点の上昇程度より大きい(第2図)。従って、用いた気象データは都市化の影響を含む可能性があると考えられた。

第2表 1989年～2016年における「コガネセンガン」および「シロユタカ」の収量、でん粉含量

栽培方法	形質	コガネセンガン				シロユタカ			
		平均値	最高値	最低値	変動係数	平均値	最高値	最低値	変動係数
標準栽培	収量 (kg/a)	264	369	166	20.1%	268	334	187	15.5%
	でん粉含量 (%)	23.4	27.0	18.5	7.5%	23.7	28.0	20.6	7.5%
長期マルチ栽培	収量 (kg/a)	414	515	282	15.2%	399	569	270	19.8%
	でん粉含量 (%)	25.5	27.9	23.5	4.7%	25.0	28.4	22.0	7.0%



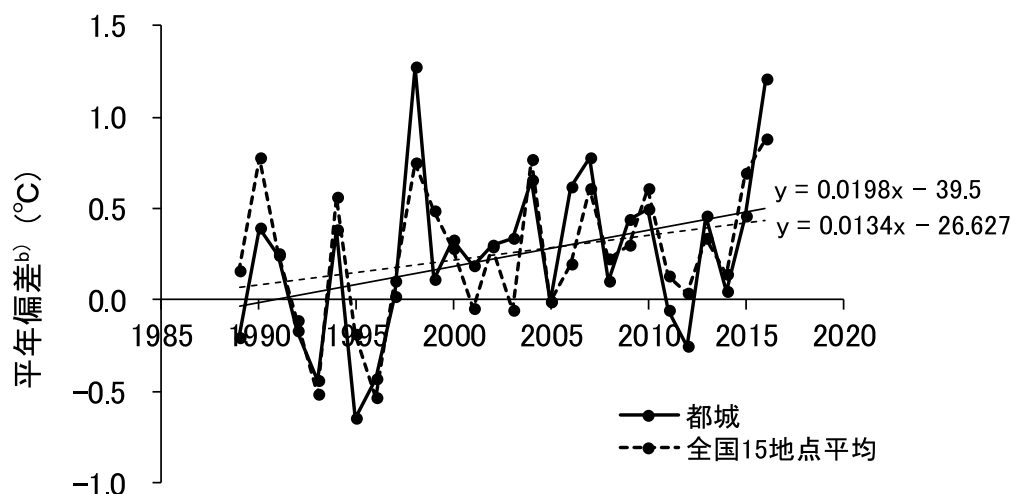
第1図 1989年から2016年までの「コガネセンガン」、「シロユタカ」の収量およびでん粉含量の推移
 **: 1%水準で有意, *: 5%水準で有意。

第3表 1989年～2016年の気象データの平均値および年次との相関係数

期間	1989年～2016年の平均値					年次との相関係数 ^{a)}				
	平均気温 (°C)	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)	降水量 ^{b)} (mm)	日照時間 ^{b)} (h)	平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間
5月～10月	23.2	28.3	19.2	10.5	5.2	0.440*	0.400*	0.487**	0.112	-0.206
5月	19.6	25.2	14.9	6.6	5.3	0.581**	0.607**	0.242	-0.094	0.182
6月	22.7	27.0	19.2	18.6	3.5	0.019	-0.157	0.289	0.438*	-0.477*
7月	26.6	31.4	23.1	12.9	5.6	0.146	0.132	0.296	0.046	-0.088
8月	26.9	32.0	23.3	10.4	5.8	0.452*	0.395*	0.647**	-0.227	-0.003
9月	24.1	29.3	20.3	10.7	5.1	0.271	0.264	0.329	-0.095	-0.096
10月	19.0	24.7	14.2	4.0	5.7	0.450*	0.382*	0.387*	0.273	-0.187

a)**:1%水準で有意, *:5%水準で有意。

b) 降水量, 日照時間は日平均値。



第2図 1989年～2016年における年平均気温偏差の都城特別地域気象観測所と全国15地点平均^{a)}の比較

- a) 気象庁が日本の年平均気温偏差算出のため、都市化による影響が少なく、特定の地域に偏らないように選定した15地点(網走, 根室, 寿都, 山形, 石巻, 伏木, 飯田, 銚子, 境, 浜田, 彦根, 宮崎, 多度津, 名瀬, 石垣島)。
 b) 1981年から2010年までの30年平均値を基準値とした偏差。全国15地点平均は気象庁ホームページに掲載されているデータを使用し、都城特別地域気象観測所は年間の月平均気温偏差のデータを平均して算出した。

2. 栽培期間を通じた気象条件と収量, でん粉含量の相関関係

標準栽培の収量, でん粉含量と1989年から2016年の各年の5月下旬から9月の間の気象データの平均値との単相関係数を計算したところ、「コガネセンガン」, 「シロユタカ」とともに収量は平均気温および最高気温, 日照時間との間に有意な正の相

関が, 降水量との間には有意な負の相関が認められた(第4表)。また, でん粉含量については日照時間との間に有意な正の相関が見られた。偏相関係数でも収量と気温および日照時間との間の正の相関や, でん粉含量と日照時間の間の正の相関は比較的高かったが, 収量と降水量との間の負の相関は低かった。

第4表 栽培期間を通じた気象要因の平均値^{a)}と収量, でん粉含量の相関係数^{b)}

栽培方法	気象要因	収量				でん粉含量			
		コガネセンガン		シロユタカ		コガネセンガン		シロユタカ	
		単相関	偏相関	単相関	偏相関	単相関	偏相関	単相関	偏相関
標準栽培	平均気温	0.591**	0.485**	0.500**	0.332	0.085	-0.076	0.228	0.069
	最高気温	0.753**	0.575**	0.701**	0.477*	0.148	-0.166	0.354	0.071
	最低気温	0.281	0.437*	0.189	0.266	-0.105	-0.093	0.001	0.042
	降水量	-0.517**	0.032	-0.557**	-0.152	-0.295	-0.044	-0.338	0.019
	日照時間	0.640**	0.467*	0.583**	0.32	0.392*	0.277	0.478*	0.348
長期マルチ栽培	平均気温	0.502**	0.479**	0.252	0.197	-0.251	-0.282	-0.119	-0.121
	最高気温	0.597**	0.575**	0.326	0.257	-0.204	-0.343	-0.064	-0.146
	最低気温	0.396*	0.426*	0.180	0.133	-0.354	-0.301	-0.202	-0.171
	降水量	-0.237	-0.054	-0.326	-0.294	-0.019	0.162	0.007	0.133
	日照時間	0.174	0.056	0.107	-0.146	0.265	0.342	0.154	0.231

- a) 標準栽培は5月下旬から9月の間の気象データの日平均値を, 長期マルチ栽培は5月から10月の間の気象データの日平均値を用いた。
 b) **:.1%水準で有意, *:.5%水準で有意。偏相関係数は平均気温, 最高気温, 最低気温は降水量と日照時間を, 降水量は平均気温と日照時間を, 日照時間は平均気温と降水量を制御変数としてそれぞれ計算した。

一方、長期マルチ栽培の収量、でん粉含量と5月から10月の間の気象条件の平均値との相関関係を調べたところ、「コガネセンガン」では単相関係数、偏相関係数ともに収量と平均気温および最高気温、最低気温との間に有意な正の相関が見られたが、「シロユタカ」ではこれらの相関は弱かった（第4表）。でん粉含量については両品種ともに日照時間との間の偏相関係数が比較的高かったが、有意な相関はみられなかった。

3. 標準栽培における収量、でん粉含量と月別の気象条件との相関関係

1) 収量と気象条件の関係

標準栽培の収量と5月から9月の月別の気象データの平均値との単相関係数を計算したところ、「コガネセンガン」では5月下旬から9月の各月の最高気温との間に有意な正の相関が認められ、7月お

よび8月、9月の平均気温や7月の最低気温とも有意な正の相関が認められた（第5表）。「シロユタカ」でも「コガネセンガン」と同様の相関が認められたが、9月の平均気温や7月の最低気温との相関は有意ではなかった。降水量との相関を見ると、「コガネセンガン」、「シロユタカ」とともに6月および7月に有意な負の相関が、8月にも比較的高い負の相関が見られた。逆に6月、7月の日照時間とは両品種ともに有意な正の相関がみられ、「コガネセンガン」では8月にも有意な正の相関が、「シロユタカ」でも8月に比較的高い正の相関がみられた。

一方、気象条件相互の相関の影響を取り除いた偏相関係数で見ると6月～9月の気温との相関は全体的に低下したものの、「コガネセンガン」では5月下旬および7月の平均気温や、5月下旬および8月の最高気温との間で有意な相関が見られ、7月および9月の最高気温とも比較的高い相関がみられ

第5表 標準栽培における月別の気象要因と収量、でん粉含量の相関係数^{a)}

気象要因	期間	収量				でん粉含量			
		コガネセンガン		シロユタカ		コガネセンガン		シロユタカ	
		単相関	偏相関	単相関	偏相関	単相関	偏相関	単相関	偏相関
平均気温	5月下旬	0.316	0.379*	0.309	0.403*	0.134	0.183	0.325	0.372
	6月	0.326	0.233	0.203	0.053	0.004	-0.064	-0.028	-0.018
	7月	0.604**	0.380*	0.513**	0.281	0.016	-0.397*	0.217	-0.273
	8月	0.504**	0.325	0.432*	0.279	0.109	-0.231	0.321	0.02
	9月	0.374*	0.303	0.357	0.335	0.102	0.112	0.111	0.117
最高気温	5月下旬	0.449*	0.442*	0.485**	0.456*	0.178	0.168	0.385*	0.399*
	6月	0.508**	0.241	0.439*	0.122	0.023	-0.180	0.017	-0.056
	7月	0.586**	0.346	0.544**	0.363	0.072	-0.388*	0.399	-0.084
	8月	0.567**	0.449*	0.512**	0.435*	0.163	-0.235	0.359	0.009
	9月	0.469*	0.373	0.459*	0.388*	0.134	0.085	0.172	0.112
最低気温	5月下旬	0.109	0.326	0.095	0.377*	0.032	0.146	0.140	0.279
	6月	0.081	0.275	-0.045	0.069	-0.098	-0.057	-0.079	0.007
	7月	0.487*	0.280	0.351	0.126	-0.121	-0.353	0.000	-0.325
	8月	0.313	0.214	0.257	0.162	-0.233	-0.269	0.014	-0.005
	9月	0.181	0.230	0.161	0.261	-0.029	0.044	-0.013	0.072
降水量	5月下旬	-0.249	-0.193	-0.071	0.04	0.114	0.168	0.071	0.137
	6月	-0.459*	-0.113	-0.479**	-0.229	-0.189	-0.100	-0.030	0.076
	7月	-0.405*	0.033	-0.401*	-0.067	-0.305	-0.242	-0.406*	-0.188
	8月	-0.373	-0.025	-0.322	-0.032	-0.056	0.326	-0.187	0.295
	9月	0.100	0.197	-0.080	0.260	-0.145	-0.117	-0.157	-0.117
日照時間	5月下旬	0.140	0.191	0.186	0.314	0.066	0.175	0.041	0.208
	6月	0.502**	0.343	0.470*	0.253	0.204	0.101	0.161	0.178
	7月	0.507**	0.011	0.443*	-0.017	0.245	0.281	0.403*	0.290
	8月	0.378*	0.023	0.311	-0.004	0.472*	0.623*	0.545**	0.539*
	9月	0.285	0.314	0.267	0.164	0.143	0.059	0.176	0.087

a)**:1%水準で有意, *:5%水準で有意。偏相関係数は平均気温、最高気温、最低気温は降水量と日照時間を、降水量は平均気温と日照時間を、日照時間は平均気温と降水量を制御変数としてそれぞれ計算した。

た(第5表)。「シロユタカ」でも5月下旬の平均気温、最高気温、最低気温や、8月および9月の最高気温との間に有意な正の相関が認められ、7月の最高気温とも比較的高い相関が得られた。一方、偏相関係数では月別の降水量や日照時間との間に有意な相関はみられなかった。

2) でん粉含量と気象条件の関係

標準栽培のでん粉含量は、単相関係数で見た場合、「コガネセンガン」、「シロユタカ」とともに8月の日照時間との間に有意な正の相関がみられ、「シロユタカ」では7月にも有意な正の相関が認められた(第5表)。また、「シロユタカ」では5月下旬の最高気温や7月の降水量との間に有意な負の相関が認められた。

偏相関係数でも「コガネセンガン」、「シロユタカ」とともにでん粉含量は8月の日照時間と有意な正の相関が認められた(第5表)。また、「コガネセンガン」では7月の平均気温や最高気温との間に有意な負の相関がみられた。「シロユタカ」では気温との負の相関は見られなかったが、5月下旬の最高気温との間に有意な正の相関が認められ、平均気温とも比較的高い相関が認められた。降水量については両品種ともにでん粉含量との間に有意な相関がみられなかった。

4. 長期マルチ栽培における収量、でん粉含量と月別の気象条件の相関関係

1) 収量と気象条件の関係

長期マルチ栽培の「コガネセンガン」の収量は、単相関係数で5月および8月以降の気温との間に高い正の相関がみられ、5月および8月～10月の平均気温、最高気温や、8月および10月の最低気温との間に有意な正の相関が見られた(第6表)。一方、「シロユタカ」では「コガネセンガン」に比べて全体的に気温との相関が低かったが、5月の最高気温や、8月の最低気温との間には有意な正の相関がみられた。降水量については8月に「コガネセンガン」で有意な負の相関関係がみられ、「シロユタカ」でも比較的高い負の相関がみられた。両品種ともに日照時間とは有意な相関が見られなかった。

偏相関係数で見ると「コガネセンガン」では5月および7月以降の気温との相関が高く、5月およ

び7月～10月の平均気温、最高気温や、5月および8月～10月の最低気温との間に有意な正の相関が認められた(第6表)。一方「シロユタカ」では、有意な正の相関が認められたのは7月の最高気温のみであった。降水量については8月に「シロユタカ」で有意な負の相関があり、「コガネセンガン」でも比較的高い負の相関となった。日照時間については、「コガネセンガン」、「シロユタカ」とともに8月に有意な負の相関が認められたほか、「シロユタカ」では7月にも有意な負の相関が認められた。

2) でん粉含量と気象条件の関係

長期マルチ栽培におけるでん粉含量は単相関係数でみると気象条件との相関が少なかったが、8月に「コガネセンガン」で最低気温との有意な負の相関が認められ、「シロユタカ」でも比較的高い負の相関がみられた(第6表)。また、「コガネセンガン」では10月の降水量とも有意な負の相関が認められた。

一方、偏相関係数でみると8月の最低気温との間の負の相関が両品種ともに有意であった(第6表)。「コガネセンガン」ではさらに、7月および8月の平均気温、最高気温や7月の最低気温とも有意な負の相関がみられたが、「シロユタカ」ではこれらの相関関係はみられなかった。日照時間については8月に「コガネセンガン」で有意な正の相関がみられ、「シロユタカ」でも比較的高い正の相関がみられた。

5. 気象条件が収量、でん粉含量に及ぼす影響の度合いの推定

上述のように、栽培期間中の気象条件と収量、でん粉含量の間に相関関係が認められたため、重回帰分析により、気象条件が収量やでん粉含量の変動に与える影響の度合いを推測できるものと考えられた。ただし、各月の気象データには相互の相関が高い場合が見られたため、気象データを主成分分析し、得られた主成分を説明変数として重回帰分析を行った。主成分の累積寄与率はいずれの月においても第3主成分までで97%以上であった。重回帰分析の結果、長期マルチ栽培のシロユタカにおけるでん粉含量を除き、統計的に有意な解析結果を得ることが出来た。決定係数を見ると、標準栽培の「コガネセンガン」、「シロユタカ」および長期マルチ栽培の「コ

ガネセンガン」では、収量で 0.645 ～ 0.736、でん粉含量で 0.601 ～ 0.667 であったが、長期マルチ栽培の「シロユタカ」では収量で 0.437、でん粉含量で 0.270 であった（第 7 表）。

第 6 表 長期マルチ栽培における月別の気象要因と収量，でん粉含量の相関係数^{a)}

気象要因	期間	収量				でん粉含量			
		コガネセンガン		シロユタカ		コガネセンガン		シロユタカ	
		単相関	偏相関	単相関	偏相関	単相関	偏相関	単相関	偏相関
平均気温	5月	0.501**	0.534**	0.297	0.306	-0.183	-0.184	0.037	0.019
	6月	0.018	0.012	0.059	-0.014	-0.111	-0.125	-0.103	-0.071
	7月	0.311	0.442*	0.124	0.364	-0.240	-0.426*	-0.140	-0.267
	8月	0.506**	0.481**	0.302	0.248	-0.286	-0.518**	-0.087	-0.300
	9月	0.384*	0.381*	0.229	0.230	-0.171	-0.252	-0.150	-0.214
	10月	0.463*	0.462*	0.156	0.179	-0.142	0.028	-0.069	0.031
最高気温	5月	0.626**	0.591**	0.421*	0.326	-0.194	-0.272	-0.043	-0.075
	6月	0.069	0.147	0.081	0.051	-0.102	-0.274	-0.115	-0.130
	7月	0.310	0.533**	0.100	0.430*	-0.219	-0.475*	-0.043	-0.101
	8月	0.516**	0.567**	0.237	0.160	-0.178	-0.421*	0.019	-0.184
	9月	0.473*	0.440*	0.332	0.287	-0.070	-0.247	-0.119	-0.226
	10月	0.404*	0.412*	0.165	0.171	-0.009	0.022	0.041	0.035
最低気温	5月	0.159	0.504**	0.083	0.387	-0.128	-0.148	0.041	0.043
	6月	0.055	0.002	0.066	-0.024	-0.259	-0.184	-0.173	-0.138
	7月	0.324	0.337	0.171	0.251	-0.321	-0.377*	-0.277	-0.334
	8月	0.568**	0.464*	0.397*	0.258	-0.549**	-0.540**	-0.364	-0.391*
	9月	0.278	0.385*	0.144	0.247	-0.317	-0.317	-0.176	-0.215
	10月	0.379*	0.417*	0.087	0.114	-0.183	0.029	-0.114	0.026
降水量	5月	-0.297	-0.158	-0.344	-0.251	-0.021	-0.027	-0.196	-0.218
	6月	0.018	-0.048	-0.129	-0.201	-0.069	0.028	0.072	0.084
	7月	-0.036	0.119	-0.060	-0.206	0.059	0.044	0.037	0.050
	8月	-0.439*	-0.323	-0.382	-0.410*	0.166	0.230	-0.017	0.040
	9月	-0.101	-0.114	-0.111	-0.100	-0.008	0.181	0.062	0.181
	10月	0.114	-0.045	-0.056	-0.108	-0.404*	-0.363	-0.153	-0.095
日照時間	5月	0.292	0.270	0.270	0.169	0.031	0.006	-0.005	-0.100
	6月	-0.100	-0.112	-0.064	-0.183	0.210	0.198	0.039	0.098
	7月	0.095	-0.231	-0.074	-0.400*	-0.013	0.340	-0.003	0.219
	8月	0.143	-0.447*	0.015	-0.438*	0.182	0.598**	0.210	0.377
	9月	0.209	0.095	0.195	0.097	0.237	0.318	0.086	0.185
	10月	-0.150	0.130	-0.031	0.019	0.188	0.017	0.157	0.101

a)**:1%水準で有意，*:5%水準で有意。偏相関係数は平均気温，最高気温，最低気温は降水量と日照時間を，降水量は平均気温と日照時間を，日照時間は平均気温と降水量を制御変数としてそれぞれ計算した。

第 7 表 収量およびでん粉含量の重回帰分析^{a)}の決定係数^{b)}

試験区	コガネセンガン		シロユタカ	
	収量	でん粉	収量	でん粉
標準栽培	0.667**	0.667**	0.645**	0.611**
長期マルチ栽培	0.736**	0.610**	0.437*	0.270

a) 収量およびでん粉含量を目的変数，気象データを主成分分析して得られた主成分を説明変数として重回帰分析した。**，* はそれぞれ重回帰分析の結果が 1%水準および 5%水準で有意であることを示す。

b) 自由度調整済み決定係数を示す。

IV. 考 察

1. 収量と気象条件との関係

都城研究拠点における栽培期間中の気象条件と収量の関係を単相関係数でみた場合、無マルチの標準栽培では主に栽培期間中の各月の最高気温や6月から8月の日照時間と正の相関が、6月から8月の降水量とは負の相関が見られた。したがって、栽培期間を通じて気温が高く梅雨から夏にかけての天候が良いことが標準栽培での多収につながると考えられた。一方、長期マルチ栽培では、主に5月および8月以降の気温と正の相関が、8月の降水量とは負の相関が見られ、生育初期と生育後半の気象条件が多収のために重要であると考えられた。ただし、長期マルチ栽培の「シロユタカ」では「コガネセンガン」に比べて収量と気象条件の間の相関が低く、収量の変動に対する気象条件の影響が少ないと考えられた。全体として標準栽培、長期マルチ栽培ともに、気温の高い場合に多収となる傾向が見られたが、これはサツマイモが熱帯原産の作物であり、高温を好むためと考えられる。一方で、収量に対する気象条件の影響の現れ方には標準栽培と長期マルチ栽培で違いも見られた。これは、マルチの有無によって気温や日照時間の地温への影響や、降水量の土壤水分への影響が変わったことが大きな原因と思われる。しかし、標準栽培とマルチ栽培では施肥量や栽培期間も異なることから、マルチの有無のみではなく他の栽培条件の影響もあると考えられる。今後無マルチ栽培とマルチ栽培における気象条件の影響の違いを詳細に解明するには、気象条件以外の変動要因を揃えた栽培試験を行う必要がある。

気象条件相互の相関の影響を取り除いた偏相関係数でみると、標準栽培における収量と6月～9月の気象条件との相関は全体的に低くなり、特に6月および7月の気象条件とは有意な相関がほとんど見られなくなった。したがって、無マルチの標準栽培では気温や降水量、日照時間の間の相互の相関の影響が大きく、6月および7月にその傾向が強いと考えられた。一方、長期マルチ栽培では、偏相関係数でみても収量と気温や降水量との相関関係に大きな変化はなかったが、夏季の日照時間と収量の間に単相関係数では見られない有意な負の相関が検出された。これは気温などを通じた間接的な影響を除外

し、日照時間のみが増加した場合に収量が減ることを示している。夏季における日照が植物の成長に及ぼす負の影響としては、強光による光合成の光阻害や過度の蒸散による土壤の乾燥などが考えられるが、8月の日照時間とでん粉含量の間に正の偏相関がみられることから、光合成活性の低下よりは過度の日照による何らかの影響により塊根の肥大が抑制された可能性が高いと考えられる。

2. でん粉含量と気象条件の関係

でん粉含量については、単相関係数でみると収量に比べて気象条件との相関関係が全体的に低かったが、標準栽培では夏季の日照時間が長いと高でん粉となる傾向が認められた。長期マルチ栽培の場合、単相関係数では同様の傾向が認められなかったが、偏相関係数では8月の日照時間とでん粉含量に正の相関がみられた。したがって、でん粉含量には夏季の日照時間が影響するものと考えられた。これは、日照時間が長くなることにより光合成量が増加して、でん粉含量が高まったものと推測される。

一方、長期マルチ栽培では8月の最低気温が低いと高でん粉となる傾向が認められた。Kano and Mano (2002) はサツマイモ塊根でのでん粉合成は夜間の高地温により抑制されると報告している。また、西原・福元 (2010) は生育後期 (概ね8月中旬以降) の気温とでん粉含量の負の相関を見出し、気温の上昇による呼吸の増加によって光合成産物が消費されたためと推測している。ただし、本解析では8月の最低気温と収量の間には正の相関がみられることから、単にでん粉合成の抑制や光合成産物の消費による影響だけでなく、肥大成長の促進によって相対的にでん粉含量が低下した可能性も考えられる。

また、偏相関係数で見ると、「コガネセンガン」では標準栽培、長期マルチ栽培ともに夏季の平均気温および最高気温とでん粉含量の間にも負の相関が見られた。気温と収量の間には正の相関が見られるため、「コガネセンガン」では日照時間が増加せずに気温のみが上昇した場合に、塊根の肥大が進み相対的にでん粉含量が低下する傾向が強いと考えられる。

なお、収量とでん粉含量の積である単位面積当たりのでん粉収量と気象条件の相関関係は収量と気象

条件との相関関係に類似していた（データ略）。これは、でん粉含量に比べて収量の年次変動が大きく、でん粉収量の変動に対する収量の影響が大きいためであると思われる。

3. 収量やでん粉含量の長期的な変動に及ぼす気象条件の影響

図1に示したように、長期マルチ栽培では長期的な収量やでん粉含量の変動として「コガネセンガン」の収量が近年増加する一方で、でん粉含量が低下する傾向がみられ、「シロユタカ」でも収量が有意に増加していた。長期マルチ栽培で「コガネセンガン」の収量と高い相関がみられた5月および8月の平均気温、最高気温や8月の最低気温、およびでん粉含量と高い相関を示した8月の最低気温は年次とともに有意に上昇しており、これが長期的な収量やでん粉含量の変動の一因となっている可能性が示唆された。

また、重回帰分析の結果からは、標準栽培の「コガネセンガン」、「シロユタカ」および長期マルチ栽培の「コガネセンガン」では収量およびでん粉含量の年次変動の60%以上が気象条件（気温、降水量および日照時間）による変動で説明できると考えられた。一方、長期マルチの「シロユタカ」では気象条件によって説明できる割合は収量、でん粉含量ともに年次変動の50%以下であり、気象条件以外の要因による影響が大きいと考えられた。長期マルチ栽培の「シロユタカ」については1995年につる割れ病による欠株が多く認められたとの記録があり、解析対象とした28年間で最も低い収量となっている。つる割れ病の発生が長期マルチ栽培における「シロユタカ」の収量変動の一因となっている可能性がある。

収量とでん粉含量の決定係数を比較すると、標準栽培の「コガネセンガン」で等しい値だった以外は収量の決定係数が高く、収量がでん粉含量に比べて気象条件の影響を受けやすい形質であると考えられた。

4. 他の試験地における解析との比較

西原・福元（2010）は、1987年から2008年に鹿児島県農業開発総合センター大隅支場（鹿児島県鹿屋市）において長期マルチ栽培と類似の栽培条

件で栽培された「コガネセンガン」および「シロユタカ」のデータを用いて同様の解析を行い、収量は生育初期（植付後0～30日；概ね4月中旬～5月中旬）の気温と正の相関が高く、でん粉含量は生育後期（植付後121～180日；概ね8月中旬～10月中旬）の気温と負の相関が高いとする結果を得ている。収量と生育初期の気温の正の相関が見られる点は本報告と同様であるが、西原・福元（2010）は夏期の気温と収量の間での正の相関は認めていない。西原・福元（2010）の栽培条件は4月中旬植付けであり、長期マルチ栽培よりも植付け時期がやや早いと考えられ、都城拠点における長期マルチ栽培に比べて生育期間前半の気温が低く、逆に生育期間後半の気温が高い傾向がある（データ略）。このような生育期間中の気温変化の差異が相関の現れ方に影響を及ぼした可能性がある。なお、西原・福元（2010）は苗の植付け日を基準として30日毎の気象条件と収量およびでん粉含量の相関関係を解析しているが、同様の解析を都城拠点の長期マルチ栽培のデータで行ったところ、植付後0～30日および31～60日の気温と収量の有意な相関は見られなかった（田中ら、2015）。都城拠点の場合、植付け日を基準とすると、年次間で気象条件の比較時期に最大で2週間程度の違いが生じる。植付後0～30日の気温と収量の間には相関がみられず5月の気温との間に高い相関がみられることは、挿苗時期が早く、挿苗直後の気温が低い場合でも5月以降の気温が高ければ収量が確保できることを示唆していると考えられる。

脇門ら（2002）は1989年から2000年にかけて鹿児島県農業開発総合センター大隅支場においていくつかの作付体系で栽培された原料用サツマイモの収量について解析を行い、化学肥料を用いた栽培では生育中期まで（5月下旬～8月上旬）の気温や栽培期間を通じた降水量や日照時間といった気象条件が収量に影響し、なかでも降水量の増加による減収の影響が最も大きいと結論している。また、蔵之内ら（2010）は農研機構中央農業研究センター谷和原畑圃場（茨城県つくばみらい市）で2000年から2008年に栽培された蒸切干加工用品種「タマユタカ」および「泉13号」の収量、でん粉含量のデータを用いて解析を行い、収量およびでん粉含量は、平均気温とは有意な相関を示さないものの、生育前

期（5月中旬～6月下旬）の降水量との間に有意な正の相関があることを報告している。これらの報告にみられる収量やでん粉含量に対する気象条件の影響も本報告の結果とは異なる部分が多く、サツマイモの収量やでん粉含量に与える気象条件の影響は栽培地域や栽培条件、品種によって大きく異なることを示唆している。

5. 結論

以上のように、都城研究拠点におけるサツマイモの収量、でん粉含量には栽培期間中の気象条件が様々な影響を与えることが示唆された。しかし、それぞれの形質と気象条件の相関のパターンや程度は栽培条件や品種によって異なっていた。また、本報告の結果と過去の報告の結果の比較からも、気象条件の影響は品種や栽培地、栽培条件によって異なることが示唆された。今後、これまで各地で行われてきたサツマイモの育種試験や系統適応性試験の結果を利用することで、栽培地や栽培条件による気象条件の影響の差異についてより詳細に解明できる可能性がある。また、本研究では気象データとして気象庁の都城特別地域気象観測所で観測された気温や降水量、日照時間を用いたが、都市化の影響を含む可能性も示唆されたため、気象条件の影響をより正確に調べるためには都城研究拠点内で観測した気象データを用いることが望ましい。また、サツマイモの塊根の形成や肥大により直接的に影響を与えるのは地温や土壌水分、日射量などであると考えられる。今回は収量のデータのみを用いて解析を行ったが、気象条件の影響は塊根数や塊根一個重などの収量構成要素ごとにも異なると考えられる。今後、これらのデータを用いて解析を行うことで、気象条件の生理学的な影響をより詳細に評価できると考えられる。

引用文献

- 1) 石黒浩二・野田高弘・佐藤哲生・山川理 (2001) 低および高アミロースサツマイモ系統の選抜とでん粉特性. 九州農業試験場報告 **38**:79-91.
- 2) KANO, Y. and MANO, K. (2002) The effects of night soil-temperature on diurnal changes in carbohydrate contents in roots and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* Poir.). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* **71**:747-751.
- 3) 気象庁 (2015) 気候変動監視レポート 2014. p.61.
- 4) 古明地通孝・財津昌幸・井口武夫・田中滋郎 (1983) 暖地におけるカンショの生長解析 1. 乾物生産の年次変動とその気象要因. 日作九支報 **50**:57 - 61.
- 5) 藏之内利和・中村善行・高田明子・田宮誠司・中谷誠・熊谷亨 (2010) サツマイモ蒸切干加工用品種の収量・品質関連形質に及ぼすマルチ被覆および気象の影響. 日作紀 **79**:491-498.
- 6) 西原悟・福元伸一 (2010) 「コガネセンガン」・「シロユタカ」における気象と収量・でん粉歩留の関係. 日作九支報 **76**:28-30.
- 7) R Core Team (2015) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 8) 角明夫・郡山朋子 (2013) 甘藷 (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) 収量の気象的予測の可能性. 日作紀 **82**:369-377.
- 9) 田中勝・小林晃・甲斐由美・境哲文・田淵宏朗・高畑康浩 (2015) サツマイモ品種「コガネセンガン」の収量やでん粉含量に影響を及ぼす気象要因の解析. 第 78 回九州農業試験研究発表会専門部会発表要旨集 p.41.
- 10) 脇門英美・小玉泰生・井上健一・上村幸廣 (2002) 家畜ふん堆肥の連用と気象変動が原料甘藷の収量に及ぼす影響. 鹿児島県農業試験場研究報告 **30**:17-25.
- 11) YOSHIDA, T. (1985) Correlation between successive yield tests for agronomic characters in sweet potato. *Japan. J. Breed.* **35**:204-208.

Effect of Weather Conditions on Yield and Starch Content of Sweet Potato at the Miyakonojo Research Station of the NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center

Masaru Tanaka, Akira Kobayashi, Yumi Kai, Tetsufumi Sakai,
Hiroaki Tabuchi, and Yasuhiro Takahata¹⁾

Summary

To investigate the effects of weather conditions on the yield and starch content of sweet potato storage roots, Pearson's coefficients of correlation were calculated using the data of sweet potato breeding experiments at the Miyakonojo Research Station from 1989 to 2016 (cultivars Koganesengan and Shiroyutaka) and the monthly average of daily weather data (mean temperature (MT), highest temperature (HT), lowest temperature (LT), rainfall (RF), and sunshine duration (SD)) during the sweet potato cultivation period of (May to October). The yield in non-mulching culture conditions correlated positively with HT in all months during the cultivation period and with SD in June to August, but correlated negatively with RF in June to August. These results suggest that higher air temperature throughout the cultivation period and fine weather during the rainy season and the summer season increased the yield. Meanwhile, the yield in mulching culture conditions correlated positively with HT in May and August to October, but correlated negatively with RF in August, suggesting that weather conditions in the early and late growth stages are important. Starch content correlated positively with SD in August in the non-mulching culture, but correlated negatively with LT in August in the mulching culture. Multiple regression analysis using principal components derived from weather data as explanatory variables suggested that more than 60% of the annual variation in both yield and starch content can be explained by variation in weather conditions, except for the cultivar Shiroyutaka in the mulching culture, for which less than 50% was explained by the weather conditions.

Keywords: Sweet potato, Weather, Yield, Starch

Division of Upland Farming Research, Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO, 6651-2, Miyakonojo, Miyazaki 885-0091, Japan.

Present address:

1)Division of Planning, Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO