

## フロリダの柑橘栽培と寒害

誌名	農業気象
ISSN	00218588
著者	真木, 太一
巻/号	35巻1号
掲載ページ	p. 51-58
発行年月	1979年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## フロリダの柑橘栽培と寒害

真木 太一

(農業技術研究所気象科)

Citrus Cultivation and Cold Damage in Florida

Taichi MAKI

(Division of Meteorology, National Institute of Agricultural Sciences,  
Nishigahara, Kita-Ku, Tokyo 114)

### 1. はしがき

著者は科学技術庁の長期在外研究員(パートギャランティ)として「農業気象災害の物理的防止法に関する研究」の課題のもとで1977年3月から1978年2月までフロリダ大学のAgronomy部および食糧農業技術研究所(IFAS)のFruit Crops部に滞在する機会を得た。渡米直前にフロリダでは極めて珍しい降雪があり、柑橘に壊滅的な被害を与えたとの報道があった。それが事実かどうかを確かめるため、滞在期間中に関連資料を収集したので報告する。

本文ではフロリダにおける柑橘の栽培と寒害、とくに1977年の寒害の特徴などについて日本の場合と比較しながら説明する。

なお、フロリダの気象データは米国海洋大気庁、NOAA (Climatological Data) およびフロリダ大学のIFAS (Johnson, 1970)、柑橘のデータはフロリダ作物家畜報告サービス、FCLRS (Citrus Summary) により、日本の気象データは気象庁(気象年・月報)、柑橘データは農林水産省統計情報部(作物統計)によった。また、世界の柑橘データは米国農務省、USDA (Foreign Agric. Services) によった。

### 2. 柑橘栽培状況

まず最初に世界の主な柑橘生産国の主要柑橘(オレンジ・タンジェリン類, グレープフルーツ類, レモン類の合計), オレンジ・タンジェリン類, グレープフルーツ類, レモン類の最近5ヶ年(1973-74~1977-78)平均の生産量をTable 1に示そう。米国は世界の主要柑橘生

昭和54年4月2日 全国大会にて報告

Table 1. Productions of principal citrus fruits (oranges, tangerines, grapefruit and lemons), oranges and tangerines, grapefruit, and lemons averaged 5-crop years 1973-74 through 1977-78 by specified countries. Parts in a crop year 1977-78 include preliminary values (Data, after FCLRS).

Citrus (×1000 t)	Principal citrus fruits	Oranges & tangerines	Grape- fruit	Lemons
Country				
U.S.A.	13,088	9,736	2,548	804
Brazil	4,788	4,428	—	360
Japan	3,907	3,907	—	—
Spain	2,777	2,516	—	261
Italy	2,775	2,000	—	775
Argentina	1,480	1,002	176	302
Israel	1,478	1,043	435	—
Mexico	1,065	1,026	39	—
Egypt	869	869	—	—
Turkey	867	621	—	246
Others	3,556	2,938	243	375
Total	36,650	30,086	3,441	3,123
Florida	9,583*	7,637*	1,883*	56

\* The rate of U.S. citrus production in Table 1 vs. that in Table 2 was multiplied and corrected because of the difference of total figure. (USDA, Foreign Agricultural Services, Washington, D.C. 20250)

産量の35.7%を占め、ブラジルが13.1%, 日本が10.7%で、次にスペイン, イタリアが7.6%で続いている。オレンジ・タンジェリン類も米国(32.4%), ブラジル, 日本の順であり, グレープフルーツ類では米国が74.0%を占めている。レモン類では米国, イタリアが約1/4ずつを

生産している。上述および北川 (1978) の報告からも米国の柑橘生産力の莫大さが理解できる。

次にアメリカにおける最近5ヶ年平均の柑橘の栽培面積(結果樹)、生産量および単位面積当生産量を Table 2 に示す。なお、統計量は9月より翌年8月までである。米国内の柑橘栽培はフロリダほかの4州でほとんど完全に占められている。その内フロリダは約3/4、カリフォルニアが約1/5を占め、オレンジ類、グレープフルーツ類ではフロリダはそれぞれ、3/4強、3/4弱の生産量をあげている。一州だけで世界の主要柑橘、オレンジ類の1/4以上、グレープフルーツ類の1/2以上を生産(Table 1)しており、フロリダは柑橘生産力において世界の第1の座にある。

また、フロリダは単位面積当収量が最も高く、とくにグレープフルーツ類では全米の2/3の結果樹面積で3/4の収量をあげており、43.7t/ha という高い値を示している。生産量、単位面積当収量から見てフロリダの柑橘栽培は極めて好適であることが判る。なお、レモン類ではカリフォルニアが主産地であって、フロリダは約7%しか生産していない。

次に主要柑橘(オレンジ・グレープフルーツ・テンブル・タンジェリン・タンジエロウ類、その他の総計)およびオレンジ類、グレープフルーツ類の栽培面積と生産量の経年変化を Figs. 1-A, B に示す。

フロリダの主要柑橘の顕著な生産量変化年、作期(図中矢印)は次のとおりである。1957-58年(12月低温)、1962-63年(12月低温)、1967-68年(2月の年平均偏差、-5℃)はいずれも寒害を受けている(Table 3)。また、1963-64、1964-65年は1962年12月

Table 2. Productions, bearing areas and yields per hectare averaged during 5-crop years 1973-74 through 1977-78 and a crop year 1976-77 on principal citrus fruits, oranges and grapefruit by Florida, California, Texas, Arizona and United States (Data, after FCLRS).

States		Florida	California	Texas	Arizona	United States
Citrus	Production (×1000 t)	10.579	2.757	681	431	14.448
	Bearing area (×1000 ha)	323.4	108.6	26.2	23.2	481.4
	Yield per ha (t/ha)	32.7	25.4	26.0	18.6	30.0
Oranges	Production (×1000 t)	7.874	1.767	257	141	10.039
	Bearing area (×1000 ha)	242.4	78.5	12.2	9.2	342.3
	Yield per ha (t/ha)	32.5	22.5	21.1	15.3	29.3
Grapefruit	Production (×1000 t)	2.081	424	222	89	2.816
	Bearing area (×1000 ha)	47.6	13.9	6.5	3.8	71.8
	Yield per ha (t/ha)	43.7	30.5	34.2	23.4	39.2
Principal citrus fruits (1976-77)	Production (×1000 t)	11.179	2.816	789	458	15.242
	Bearing area (×1000 ha)	321.7	108.2	25.9	23.7	479.4
	Yield per ha (t/ha)	34.7	26.0	30.5	19.3	31.8

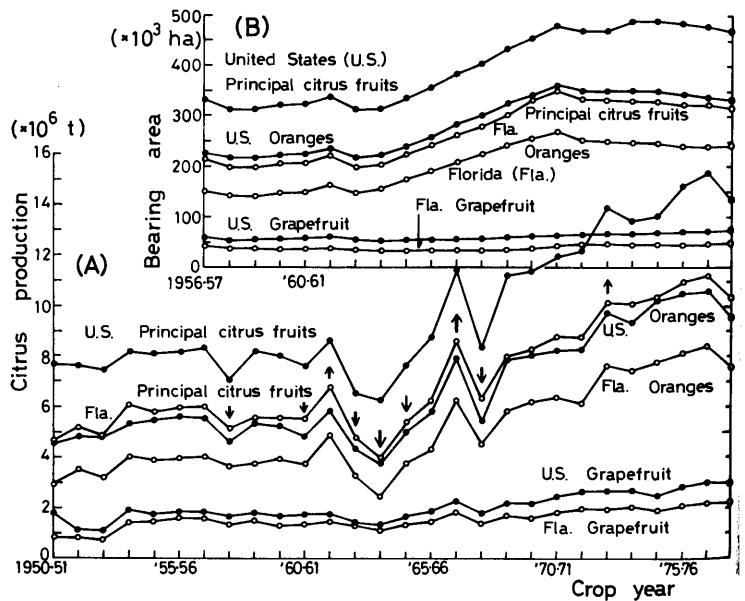


Fig. 1. Productions (A) and bearing areas (B) of principal citrus fruits, oranges, and grapefruit for Florida and United States. Crop years 1950-51 through 1977-78 for (A) and crop years 1956-57 through 1977-78 for (B) (Data, after FCLRS). Arrows indicate the crop years which citrus productions vary significantly.

の寒害の後遺症による。1961-62, 1966-67年はかなりの低温にもかかわらず栽培面積の急増, その他の良好な気候条件のために豊作となったが, 隔年結果を起し, 1962-63, 1967-68年は寒害も加わって大減収となった。1968-69年以後, 生産量は順調に増加し, 1972-73年には好気候条件のために増収しており, 1976-77年には1118万tを生産している。なお, 1960-61年はハリケーンによる減収である。

主要柑橘とオレンジ類の栽培面積は大体平行的な経年変化を示しているが, 1970-71年作期以後オレンジ類ではわずかに減少きみである。この原因にはグレープフルーツ類や他作物への転作のほかは気候温和な土地への人口移流による都市化(とくにオーランド付近)がある。

フロリダの柑橘の栽培面積・生産量分布をFigs. 2-A, Bに示す。柑橘はフロリダ半島中央部の丘陵地帯に集中して栽培されている。州内は標高が最高で100m程度であるため, 多数ある湖沼地を除けばほとんどの場所で栽培が可能であり, 気候的には恵まれた地域である。

フロリダにおけるオレンジ類の収穫は例年では11月下旬~7月上旬に, とくに12月下旬~2月下旬と4月中旬~6月中旬に多く, 二つの山が認められる。しかし1977年は1月の降雪による異常気象のために寒害直後1月下旬~2月中旬に非常に高い収穫ピークを迎え, 3月中旬~4月中旬の収穫の中だるみは認められなかった。グレープフルーツ類では例年は1月下旬~4月下旬に多いが, 1977年は2月中旬~5月中旬と約20日遅延して

いる。このオレンジ類, グレープフルーツ類は収穫最盛期以外でもかなりの量を, また8.9月でもわずかではあるが, 収穫出荷していることは, 日本の柑橘の収穫方法(晩生柑橘以外の温州ミカンは年内に収穫完了)と大きく異なっていて興味深い。その他テンブル, ハニータンジェリン類は1~3月に, タンジェロウ, タンジェリン類は11~1月に多く収穫している。

収穫方法は生鮮用には主として手取であるが, 加工用には落果誘発剤の散布後, 脈流のある強風を吹きつけ果実をゆすり落し, 機械でかき集める大型機械収穫法がかなり行われている。

### 3. フロリダおよび日本の柑橘栽培地帯の気候比較

フロリダの年平均気温分布(Fig. 3-A)によると21~24℃の範囲内に, 最寒月, 1月の平均気温分布(Fig. 5-A)では14~19℃, 最暖月, 8月の平均気温では27~28.5℃の範囲内に栽培地帯が集中している。日本の柑橘地帯の年平均気温と比較すると, 宇和島で16.9℃, 熊本で16.4℃, 静岡, 和歌山で16.3℃, 松山で16.0℃となっており, フロリダの平均気温は相当高い。なお, 日米共に年・月平均値は1941~70年の値である。

フロリダの柑橘栽培中心地域, North Central (9)とSouth Central (16)の合計25地点および宇和島の月平均気温の年変化をFig. 4-Aに示した。フロリダ, 宇和島の最寒月の平均気温はそれぞれ15.9℃, 6.6℃, 最暖月の

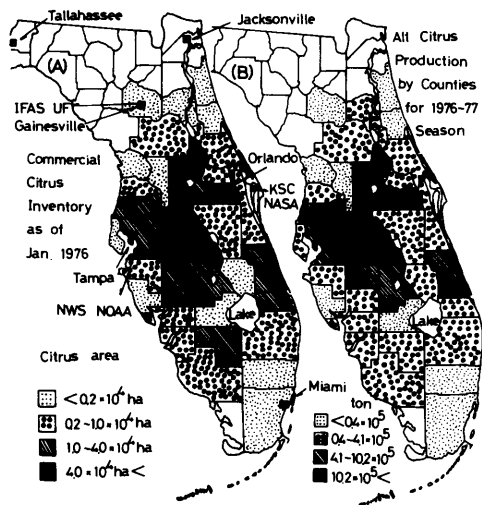


Fig. 2. (A): Distribution of citrus area by Counties (Florida State) based on commercial citrus inventory as of January 1976. (B): Distribution of all citrus production by Counties for a crop year 1976-77 (Data, after FCLRS).

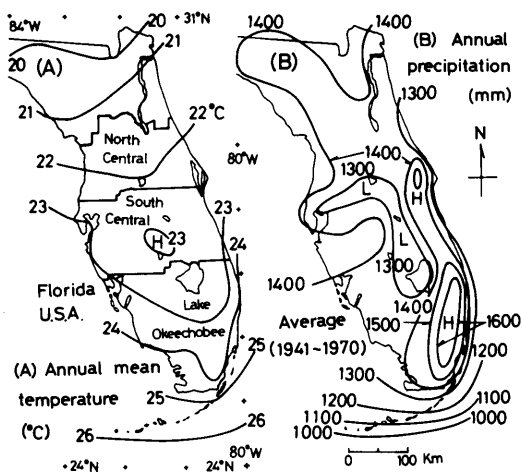


Fig. 3. Patterns of annual mean temperature (A) and annual precipitation (B) averaged during the period from 1941 to 1970 in Florida State (Data, after NOAA). Ranges of North Central and South Central as a representative of main citrus production area.

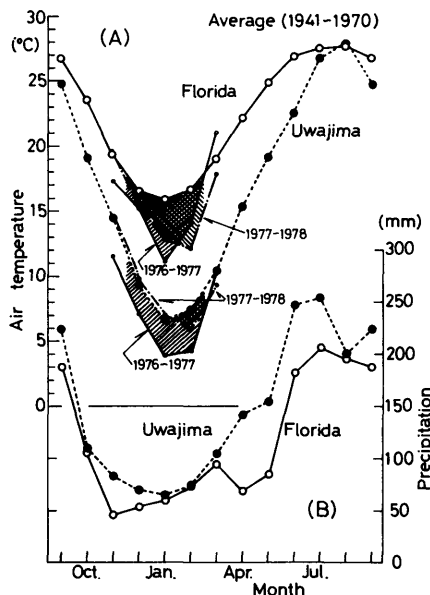


Fig. 4. Annual variations of normals of monthly mean temperature (A) and monthly precipitation (B) averaged during the period from 1941 to 1970. Hatched ranges show the ones which are lower than normals of monthly mean temperature between November and March in Florida (25-point mean) and Uwajima (Data, after NOAA and JMA).

それらは、27.7℃、27.8℃である。気温の年較差はフロリダで11.8℃、宇和島で21.2℃であり、フロリダでは宇和島の約1/2である。フロリダは平均的には冬期あまり低温でなく、夏期を除けばフロリダの月平均最低気温が宇和島の月平均気温にはほぼ等しい。

積算温度について比較するとフロリダ(25地点)では4470℃(4150~4800℃)と非常に高く、宇和島では2750℃とかなり低い。岩崎(1966)は日本の理想的な柑橘栽培地帯では、普通温州ミカンが2600~2700℃、貯蔵用ミカンとしては2400~2500℃であると報告している。

一方、降水量についてはFig.3-Bに示すように、主産地は1200~1600mmの範囲に分布している。たとえばオケチョビー湖(琵琶湖の2.5~3倍)のすぐ北側の1205mmから湖の南東側の1638mmまで大きい降水量の差が認められるが、日本の複雑な地形による降水量差よりもはるかに小さい。フロリダのNorth Central(12)とSouth Central(19)の合計31地点の年降水量の平均値は1357mm(1210~1500mm)である。

我国の柑橘地帯の年降水量と比較すると、静岡の2362mm、熊本の1943mm、宇和島の1728mmの値よりフロリダはかなり少なく、和歌山の1460mmとか松山の

1385mmに近い量である。中川(1969)は日本の代表的な栽培地の平均として1766mmを求めている。ここで月降水量の年変化をFig.4-Bに示す。フロリダ、宇和島共に夏期~初秋期に多く、冬期に少なくなっている。4~9月、暖候期の降水量はフロリダでは924mm(840~1010mm)であり、松山の952mm、和歌山の974mmに近いが、静岡1645mm、熊本1481mm、宇和島1221mmおよび前記5地点平均の1255mmよりかなり少ない。中川(1969)は日本の代表的な柑橘栽培地の4~9月の平均として1194mmを報告している。

フロリダでは乾期と雨期が比較的是っきり分かれているのに対して、宇和島では比較的滑らかな年変化である。

#### 4. フロリダにおける過去の寒害

##### 4.1 低温の程度および低温の分布について

フロリダの柑橘栽培地帯の北端に近いゲインズビルの観測所で、過去の寒害について低温の程度を調べてみるとTable3のようになる。ただし、1冬期間1データ(最低気温)とする。ゲインズビルにおける低温のリターンペリオドを求めると、1977年の低温は3~4年に1回の割合で発生していることになる。

1950年以前の大寒害年、作期は1885-86、1894-95、1898-99、1901-02、1904-05、1927-28、1934-35、1939-40年である。Table3の左側に掲げた低温では必ず寒害が発生しており、1940-41年以外は大寒害となっている。1894-95年では2回(12、2月)のきびしい低温(欠測のため付近から推定:-9.0~-9.8℃)のために壊滅的被害をもたらした。その後遺症によって1895~1902年では極めて低い生産量(6ヶ年間は前3年平均の4~9%、1901-02年では26%)であった。

Table 3. Temperature extreme in °C for each winter season at Gainesville, Florida (Data, after NOAA and IFAS).

Order	Temp. (°C)	Date (After 1886)	Temp. (°C)	Date (After 1950)
1	-14.4	Feb. 13-14, 1899	-11.1	Dec. 13, 1962
2	-11.1	Dec. 13, 1962	-8.9	Dec. 13, 1957
3	-10.0	Jan. 28, 1940	-8.3	Jan. 31, 1966
4	-9.4	Jan. 3, 1928	-7.8	Jan. 24, 1960
5*	-9.4*	1894 and 1895	-7.8	Dec. 30, 1961
6	-8.9	Jan. 12, 1886	-7.8	Feb. 26, 1967
6	-8.9	Jan. 26-27, 1905	(°C)	(After 1970)
6	-8.9	Dec. 12-13, 1934	-7.2	Jan. 10, 1970
6	-8.9	Nov. 16, 1940	-7.2	Jan. 21, 1971
6	-8.9	Dec. 13, 1957	-7.2	Jan. 20, 1977

\* Estimated value: -9.0 to -9.8°C (Dec. 28-29, 1894 and Feb. 8-9, 1895).

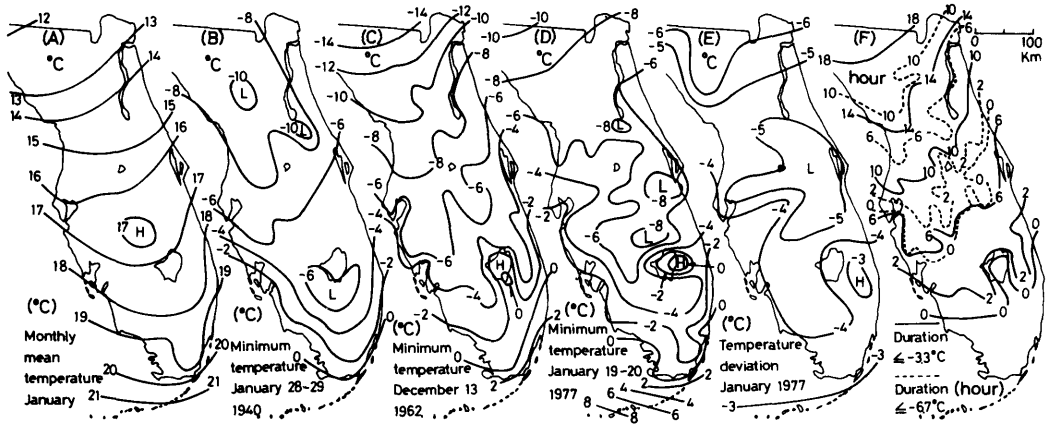


Fig. 5. (A): Isotherm of normal of January averaged during the period from 1941 to 1970. (B), (C) and (D): Isothermal patterns of minimum temperatures on the days of extremely low temperature, *i.e.*, January 28 to 29, 1940 (B), December 13, 1962 (C), and January 19 to 20, 1977 (D). (E): Isotherm of deviation (January 19-20, 1977) from normal of January (30-year average). (F): Durations in hours of temperature  $-3.3^{\circ}\text{C}$  and lower (solid line), and of temperature  $-6.7^{\circ}\text{C}$  and lower (dotted line) for the morning of December 13, 1962 (Data, after NOAA and IFAS).

なお、1940年11月の低温は1940-41年作期に大減収を起こさなかったが、1941年3月の低温も加わって隔年結果を起こした。

ゲインズビルの最低気温が $-9^{\circ}\text{C}$ 以下では大寒害が発生し、 $-8\sim-9^{\circ}\text{C}$ ではその他の条件で必ずしも発生せず、 $-8^{\circ}\text{C}$ 以上では大寒害にならないと言える。

1899年の低温の平年偏差はフロリダの北部程大きく、州の北端に近いタラハッシでは $-18.9^{\circ}\text{C}$ にも下っているが、中南部ではそれ程強い寒さでなかった。ここで代表的な寒害のあった1940年1月28-29日 (Fig. 5-B), 1962年12月13日 (Fig. 5-C), および最近比較的低温になった1966年1月31日と今回の1977年1月19-20日 (Fig. 5-D)の低温分布を調べてみると柑橘栽培の中心地帯の低温は1940年では $-11\sim-4^{\circ}\text{C}$ , 1962年では $-10\sim-3^{\circ}\text{C}$ , 1966年では $-8\sim-3^{\circ}\text{C}$ , 1977年では $-8\sim-2^{\circ}\text{C}$ である。1940, 1962年では観測開始以来の極値となった場所が多かった。もう少し細かく見るとNorth Centralの主要地点では、1940年に $-11.1\sim-5.0^{\circ}\text{C}$ , 1962年には $-10.0\sim-4.4^{\circ}\text{C}$ , South Centralでは、1940年に $-8.3\sim-3.9^{\circ}\text{C}$ , 1962年に $-7.8\sim-3.3^{\circ}\text{C}$ となっている (Figs. 5-B, C)。海岸近くの極く一部の観測値を除けば大体が上記の温度範囲の低い値に近く、広い地域で強い寒害を受けたことが明らかである。

#### 4.2 1977, 1978年の低温と柑橘収量について

1977年12月16-19日に非常に強い寒波が西日本を襲い、晩生柑橘に多大の寒害をもたらせた。この低温は日本ばかりでなく、世界最大の柑橘栽培地である米国フロ

リダでも相当の低温 (1月17-20日) を記録した。18-19日にフロリダでは極めて希な降雪があり、19日には半島南端のマイアミにまで雪を降らせ、さらにはバハマ諸島に有史以来の降雪をもたらした。

これに関するニュースを朝日新聞 (1977年1月31日) から引用すると“農作物被害: 常夏のフロリダも気象台始まって以来の寒さに見舞れ、オレンジやグレープフルーツも壊滅的な被害を受け、トマト、メロン、サトウキビなども寒さで枯れ出し、被害の総額は見当もつかないという。”しかしこのニュースはかなり実情とは異なっている。まず下線部の「寒さ」は「雪に、ところによっては」と読み換えるべきであり、また「壊滅的な被害」は柑橘に関しては誤りである。

1976-77年作期の柑橘は相当の低温 (Figs. 4-A, 5-E) がかなり長期間 (1月の平年偏差 $-4\sim-6^{\circ}\text{C}$ ) 続いたために糖度低下、酢上り、ナリンジン (苦味成分) 増加などによる品質低下、収穫遅延、一時 (1月) 的収穫減および特殊なテンプル類 (前5年平均の76.8%) とか環境の悪い一部の樹園地、幼木園での減収はあった。しかし主要柑橘の生産量は減少せず、逆に少し増加して史上第一の生産量・単位面積当収量 (それぞれ、対前年比102.2, 102.3%, 対前5年平均比111.2, 113.8%) となった。ただし、この低温は開花遅延、開花果実数の減少、樹勢減退など1977-78年作期へ間接的影響 (隔年結果) を与えた。

なお、フロリダの中南部では降雪のために熱帯・亜熱帯植物、とくに高木の高い枝に大打撃を与えたことを付

け加えておく、また、サトウキビのニュースは実情に適合している (Kidder *et al.*, 1978)。

低温に遭遇して、1976-77年作期収量が減少しなかった気象的理由は次のように考えられる。

① 低温としては北部では3~4年に1回 (Table 3)、中南部では5~10年に1回 (-8℃以下の中東部の一部では15年に1回) 程度であって、かなり低い所もあるが、柑橘栽培地全体では7~8年に1回と考えられ、極端な低温ではなかった。② 低湿度下の低温では、樹体の水分バランスが崩れ易く葉が萎凋して落葉したり、果実の凍結を起こして被害が出易いと思われるが、降雪を伴えば高湿度となり、雲や雪片の存在が放射冷却の防止機能を果して、葉・果実自体は低温より保護される。③ 百葉箱内気温が同一と仮定すると、晴天・弱風下では逆転層の発達が顕著で下層部程低温となり、しかも葉温は百葉箱内気温よりはるかに低くなるが、降雪・強風条件下では逆転層が発達し難いため、上下間の気温差が小さく、被害の上下の部位による差は少なく、被害自体も少なくなると考えられる。

柑橘地帯で1978年2月の年間偏差は-3.5~-5.5℃で1977年1月の年間偏差 (Fig. 5-E) に近いが、極端な低温がなかったため直接的寒害は少なかった。しかし、前年かなりの低温にもかかわらず豊作であったため隔年結果となった。従って1977-78年作期生産量は史上最高年 (前年) の92.6%、単位面積当収量では95.0%、前5年平均では前者は98.2%、後者は102.5%となっている。ここ3ケ年は高収量期にあるため、生産量はやや減少、単位面積当収量は平年並と考えられる。

ただしレモン類の被害は激しく、フロリダでは1976年の5.59万tの収量が1977年には1.59万t、対前年比28.5%、対前5年平均比25.0%、ライム類では前5年平均の50.4%と大減収であったが、総量が少ないため柑橘全体から見ると大きな影響を及ぼさなかった。このレモン類は開花・収穫期が同年内にあるため、レモン類だけが日本の柑橘収量と同様、12月末締切の統計になっている。

日本の1963年の極東寒波は柑橘はもとより農作物に多大の寒害をもたらした。この寒害は1月の低温に基因しているが、フロリダでは1ヶ月早い1962年12月に発生している。また1977年2月には西日本で1963年より低い気温を記録したが、この場合も1ヶ月早く起こっている。1977年の日本とフロリダの柑橘地帯の低温の特徴は異なり、日本では晴天下での低温であったために被害の発生状況が違っている。

日本の1977年2月の低温は非常に強く、この低温により被害を直接に受けたのは晩生柑橘類で、1977年の

ナツミカン、ネーブル、イヨカンの単位面積当収量 (農林水産省統計情報部) は前4年平均のそれぞれ、80.8、79.2、89.4%となっており、晩柑類の平均値では82.7%と大減収となっている。しかしながら柑橘の大部分の生産を占める温州ミカンには果実への間接的な影響となったため、その後の気候がよくて1977年産の全柑橘収量は、晩柑類の減収にもかかわらず結果的には平年作より増収した。

#### 4.3 フロリダの低温の特徴について

1934、1940 (Fig. 5-B)、1957~58、1966年などの低温は晴天・弱風下の放射冷却で起こっているため、同じ地域でも、たとえば丘陵地では高地、低地、窪地の地形差による温度差が出現している。1962年 (Fig. 5-C) の場合には標高差による低温差は少ないが、北米大陸からの北~北西風の吹き出しが強く、その方位が分布図に顕著に現われている。従って、オケチョビー湖の南~南東地区が周囲の気温より3~4℃高くなっており、湖面で暖められた空気の移流が認められるのに対して、1934、1940、1957~58、1966年では弱風のためか湖の南側で却って低温となっている。

1977年では降雪と共に風も強く、柑橘地帯で日平均風速3.0m/sec、栽培北端に近いゲインズビルで5.8m/secに達している。このために1977年も湖の東側で暖かく、西岸で-5.0~-3.9℃であったのが東岸で+1.1℃に達し、5~6℃も上昇した結果が得られている。その他、オーランドの北側にあるフロリダで第2、3番目の大きさのアパピコ湖、ジョージ湖でもこの現象がはっきり認められる。なお、Bill *et al.* (1978) はこの現象を熱収支観測で確かめている。フロリダは湖沼が極めて多く、これら湖沼からの熱輸送が気温低下の緩和に重要な役割を果たしていることが考えられる。

1977年12月から1978年2月までの各地点の最低気温分布 (場所により出現日が異なる) をみると、この場合もオケチョビー、アパピコ湖周辺の気温が高く、湖の影響が確認できる。1977年1月 (Fig. 5-E) および1978年2月の月平均気温の年間偏差 (それぞれ4~6℃、3.5~5.5℃低い) から湖の南東側で偏差が小さくなっており、湖の気候緩和作用が認められる。年間偏差は半島中央部で比較的複雑な分布で、しかも低温の特徴が2ケ年間で大きく異なるにもかかわらずよく類似した分布を示していることは興味深い。

1962年12月13日に-3.3℃ (実線)、-6.7℃ (点線) 以下になった低温の継続時間分布 (数値は Johnson, IFAS, 1970) を Fig. 5-F に示す。前述のように柑橘栽培の中心地では-10~-3℃であり、半島の西側の方が東側よりも比較的低温になっており、継続時間も長い。と

くに大西洋側の海岸地帯が高温になっており、継続時間も短くなっている。また湖の南側で温暖域が認められ、低温継続時間は短い。-3.3℃以下になった継続時間は柑橘中心地では2~13時間、-6.7℃以下の場合は0~8時間となっており、-6.7℃以下で数時間以上の継続時間地帯では莫大な被害が発生している。

柑橘の幼木の葉は、日本では11月上旬で-3℃、12月下旬で-6℃、2月上旬で-7.5℃で各3時間の低温に耐える(小中原, 1975)。フロリダでは通常、とくに日中は温暖であるため、耐寒性は日本の場合より低いと考えられるので上述のような低温にさらされると、12月ではあるが-3.3℃以下の3時間以上地域でかなりの被害が発生したことが予想される。事実1962-63年作期の被害は激しく、翌々年の作期にまでその影響が残り収穫量が激減している。

### 5. 寒害防止技術について

フロリダの柑橘の寒害防止技術には主として燃焼法、送風法、散水氷結法が実施されている(真木, 1978)。

**燃焼法：**オーチャードヒーターによる燃焼法がよく普及しており、種々の大きさのスタックヒーター(Return stack heater, Auto clean stack heater, Jumbo cone heater)が一般に使われている。低温が予想される日に農業労働者を待機させておくのに柑橘産業界だけでも時間当約1000万円(1976)、一夜ヒーターを点火すると約14億円の費用がかかると言われている(Sutherland & Bartholic, 1977)。この莫大な費用を節減するためには予報精度を向上させて効率よく準備、待機、点火作業を進める必要がある。

このためフロリダ大学、IFASのDr. Bartholic(現ミシガン大学)がプロジェクトリーダーになって、IFAS、NOAAおよびケネディ宇宙センターのNASA(米国航空宇宙局)で約20名のプロジェクトチームを作って人工衛星による低温予想システムを開発している。西経75°の南米のコロンビア上空36万kmに静止している環境衛星(GOES)からの画像が30分毎にラスキンのNWS(米国気象サービス)に送られてくる(Fig.2)。この衛星は雲の写真を昼間は可視光線で、夜間は赤外線撮影している。フロリダの柑橘地帯では凍霜害の発生する低温が起りそうな夜間には、雲のない晴天状態が多い(1977年1月は例外)ため、衛星は雲のトップの温度ではなく地表面の温度を監視していることになる。この装置は衛星からの赤外線写真と14のキーステーションのリアルタイムの地上温度および300ヶ所の過去の観測データを用いて予報を行っている。気温データの他に土壌水分・土壌型などの複雑な要素や風速、湿度などの変数もうまく

処理できる。現在約1℃の精度、約65km<sup>2</sup>の解像力で4時間前に寒波の侵入をキャッチすることが可能であり、非常に優れた低温予報システム(Sutherland & Bartholic, 1977)である。

**送風法：**100 HPの大型防霜ファンがよく普及しており、丘陵地帯の斜面または窪地上に多数設置されている。フロリダでは凹地は湖沼になっている所が多く、水面からの熱輸送が防霜の重要な役割を果たしている。完全な窪地では寒害がよく発生するために、そこには柑橘を栽培しておらず、森林、草地、空地になっている場合が多い。土地が広いため無理をして作るという姿勢はなく、危険地帯では栽培しないという考え方が行き渡っている。なお、カリフォルニアの送風法については上村(1976)によって報告されている。

**散水氷結法：**この方法もよく普及している。スプリンクラーにはOver head (tree) type(小型ヘッド・ファローガンタイプ)、Low head (tree) type, Undertree typeなどがあり、灌水その他、多目的に利用している。氷結法とは異なるが、畝の間に水を貯める畝間灌漑とか地表面を流去させる全面灌漑などで、土壌水分を増加させて地中からの熱移動を助長させ、比熱、熱容量の増大効果を利用して寒害を防いでいる場所もかなりある。

**その他：**人工霧法(Mee, 1977)があるが、条件の整った場所および時期でないと実施効果が小さく、強い寒害の場合には効果が低い(Brewer, 1977)。この方法は三原ら(1966)によって開発されたが、上述の理由と低い経済効率のために米国でもあまり普及していない。

日本で以前よく行われていた煙霧法(燻煙法)もほとんど実施されていない。

Table 4. Summary of 1974-75 Frost Protection Survey in Tulare County, California (After Brewer, 1977).

Method or system	Percent area reporting (%)		
	Navels	Valencias	Lemons
None	18	15	41
Irrigation water alone	15	9	7
Wind machine alone	18	16	21
Heaters alone	1	1	3
Wind machine+water	16	27	10
Wind machine+heaters	11	12	12
Wind machine+water+heaters	8	7	5
Water+heaters	0.5	1	1
Helicopter or airplane (Unidentified, by the author)	0.03	0	0
	(12.5)	(12)	(0)



現在日本で寒冷紗, コモ, 化繊布などの直接・間接被覆法がよく普及している(小中原, 1975, Maki, 1977)が, フロリダの成木園では全く見かけなかった。

10年前には燃焼法によるリターンスタック・ジャンボコーン型ヒーターを多数使用していたが, 点火とか燃料補給に手間がかかり, 人件費が高いため加圧式燃料補給システム(Pressured heater system)に変わって来た。この方法は燃料補給が自動的で燃焼量も調節できるため非常に便利になった。しかし5年前の石油ショック以来, 送風法とか散水氷結法あるいはそれらを組み合わせた方法に移って来ている。カリフォルニアでの報告(Table 4, Brewer, 1977)からもこの傾向が伺える。

#### 引用文献

- 1) Bill, R. G. *et al.*, 1978: Boundary-Layer Meteorol., **14**, 543-556.
- 2) Brewer, R. F., 1977: Proc. Inter. Soc. Citriculture, **1**, 196-199.
- 3) Florida Crop and Livestock Reporting Service, 1976 to 1978: Florida Agric. Statistics, Citrus Summary, **1976 to 1978**, 1-49.
- 4) 岩崎藤助, 1960: カンキツ栽培法, 朝倉書店, 1-435.
- 5) Johnson, W. O. (IFAS), 1970: Inst. Food & Agric. Sci., Univ. of Florida, **9**, 1-154.
- 6) Kidder, G. *et al.*, 1978: Proc. Soil and Crop Sci. Soc. Florida, **37**, 76-78.
- 7) 北川博敏, 1978: 農及園, **53**, 134-140.
- 8) 小中原 実, 1975: 静岡柑試特報, **3**, 1-164.
- 9) 真木太一, 1977: 農業気象, **33**, 99-101.
- 10) Maki, T., 1977: Proc. Inter. Soc. Citriculture, **1**, 192-196.
- 11) Mee, T. R., 1977: *ibid.*, **1**, 203-208.
- 12) 三原義秋ら, 1966: 防災科学技術総合研報, **6**, 33-46.
- 13) 中川行夫, 1969: 園芸試報, **A-8**, 73-94.
- 14) NOAA, 1967 to 1978: Climatological Data, Florida, **71** to **82**, 1-15.
- 15) Sutherland, R. A. and J. F. Bartholic, 1977: Proc. Inter. Soc. Citriculture, **1**, 181-183.
- 16) 上村賢治, 1976: 農業気象, **32**, 155-159.