

# ミリ波放射計による糖度測定\*

小田 誠<sup>\*1</sup>・肥後 一彦<sup>\*1</sup>

Measurement of Brix Value by Millimeter Wave Radiometer

Makoto ODA and Kazuhiko HIGO

本研究では、ミリ波放射計を用いて果実の糖度を非破壊で測定する方法の確立を目標としている。果実が放射するミリ波は、果実の糖度が高くなるにつれて強くなる。しかし、放射計による測定値は被測定物が置かれている環境の背景放射による影響を受け、背景放射に対して果実の輝度温度が低い場合と高い場合では糖度とミリ波強度の相関が逆になることがわかった<sup>1)</sup>。また、背景放射と試料の輝度温度差が大きいたことが糖度測定における測定精度向上には不可欠であることがわかった。今回の研究では背景放射が高温である環境での測定方法を検討した結果、常温の範囲であれば試料の温度を考慮しなくても検量線作成が可能であることがわかった。

キーワード：ミリ波，放射計，糖度測定

## 1 はじめに

宮崎県では完熟マンゴー，完熟きんかん等を「みやざきブランド」として認定しており，高価な値段で販売されている。こうしたブランド品を維持していくうえで重要なのが栽培管理技術であり，糖度などの内部品質を生産現場へフィードバックさせることが重要である。従来の糖度測定は，サンプルを抽出し，抽出した果汁の糖度を計測する破壊検査であり，ロット内での品質のばらつきが問題となっていた。このような理由で，果実の糖度を非破壊で計測するための研究が進められており，選果場等での実用化が始まっている。しかし，システムが複雑であり高価なため普及が進んでいない。

本研究では，ミリ波放射計を用いた果実の糖度測定の基礎研究として，Ka帯 (26.5 GHz ~ 40 GHz) におけるショ糖水溶液の濃度と輝度温度の相関関係の解明を行った。その後，実際の果物 (りんご) を使った検量線作成を行った。

## 2 実験方法

### 2-1 ショ糖水溶液測定

濃度が10%，15%のショ糖水溶液をあらかじめ冷やしておき，温度が上昇していく過程のミリ波を測定した。実験に用いたミリ波放射計のブロック図を図1に示す。この装置のアンテナ開口面がピーカに入れたショ糖水溶液の水面に平行になるように装置をピーカ上部に吊らして測定した。

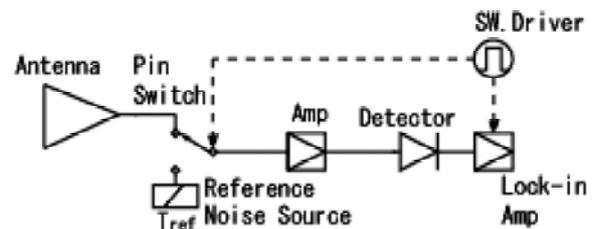


図1 放射計ブロック図

### 2-2 果実測定

家庭用の蛍光灯はミリ波を放射している<sup>2)</sup>。そこで，図2のようにミリ波を放射する光源を試料である果実の周囲に配置し，背景放射が強い環境をつくった。その上で，20個の果実 (りんご) が放射しているミリ波をミリ波放射計により測定し

\* ミリ波による非破壊検査装置に関する研究 (第3報)

\*1 機械電子部

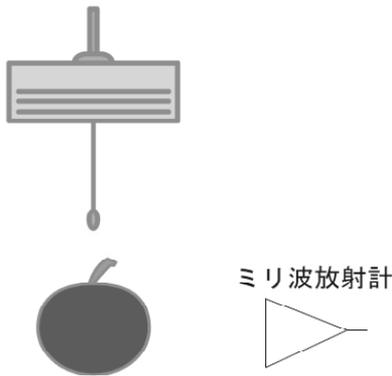


図2 実験システム (イメージ図 実際と異なる)

た. その後に果実の果汁を搾り, デジタル糖度計 (株)アタゴ PAL-1) で測定した.

### 3 結果及び考察

#### 3-1 ショ糖水溶液測定結果

図3は, 濃度の異なるショ糖水溶液のミリ波強度の温度特性を測定した結果である. ショ糖水溶液の複素誘電率を測定した結果<sup>3)</sup>からは, ショ糖水溶液の濃度が高くなると放射率が大きくなると考えられるため, ミリ波強度は強くなると考えられる. しかし, 下図のようにショ糖水溶液が低温の場合と高温の場合で相関が逆になった.

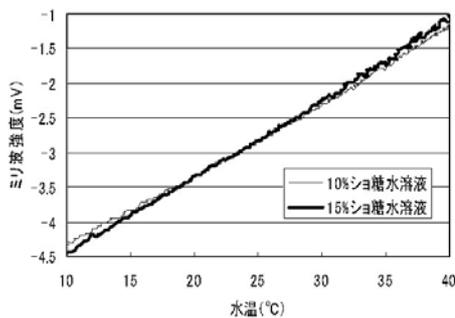


図3 実験システム

#### 3-2 雑音測定の原理

上記の結果を次のように考察した. 測定体系図を図4に示す. 被測定物体が放射する熱雑音  $T_{obj}$  および周辺物体からの熱雑音を含む背景放射  $T_{bac}$  がアンテナに到達する熱放射  $T'_{obj}$  である. さらに物体とアンテナの間の大気熱放射  $T_{air}$  もこれに加わるが, 本測定の場合, 近距離における果実の糖度測定を目的としているため, この項は省略

する. 物体の反射率を  $r$  とすると, 被測定物体の輝度温度  $T'_{obj}$  は, 背景放射が反射された  $rT_{bac}$  と物体の放射する熱雑音  $\varepsilon T_{obj}$  の和で表され,

$$\begin{aligned} T'_{obj} &= rT_{bac} + \varepsilon T_{obj} \\ &= (1-\varepsilon)T_{bac} + \varepsilon T_{obj} \end{aligned}$$

となる. ここで, 物体の反射率  $r$ , 透過率  $t$ , 放射率  $\varepsilon$  の間には,

$$1 = \varepsilon + r + t$$

の関係があるが, ここでは, 被測定物体は波長と比較して十分に厚いので, 透過率  $t = 0$  とした.

また, 今回の測定は距離が短いので, 大気中を伝搬する際の減衰はないものとする.

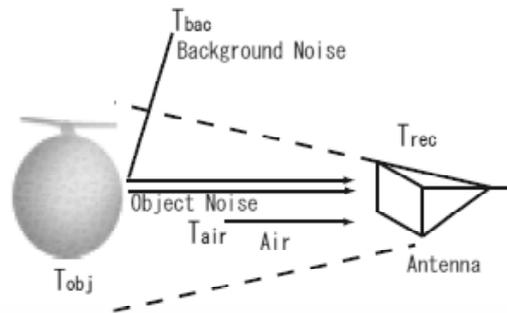


図4 測定体系

以上の考察から, 試料が低温の場合には背景放射の反射波の影響が強く表れ, 高温の場合は背景放射の反射波よりも試料自体が放射するミリ波の影響が強く表れるため, 図3の結果になったものと考えられる.

このことから, ミリ波強度から試料の糖度を推定するには, 試料の温度毎に検量線を作成するか, 他の温度の検量線を同一温度に換算する必要がある. また, 同一温度における試料の糖度差による輝度温度差を大きくするには, 背景放射を低温にするか, 高温にするとよいと推定される.

#### 3-3 背景放射の制御

ノイズ源を用い背景放射を高温にして果実の糖度とミリ波強度の関係を測定した結果を図5に示す. この実験における果実の温度は同一ではないが, 相関係数が  $R=0.83$  となり, 初期の実験結果としてはかなり高い相関が得られた. これまでの実験条件で同様な実験を行うには, 正確に各試料

の温度を同一にする必要があったため大変困難であった。また、温度計の測定誤差が含まれるために高い相関は得られなかった。今後改良を加えれば、さらに高い相関が得られるものと考えられる。

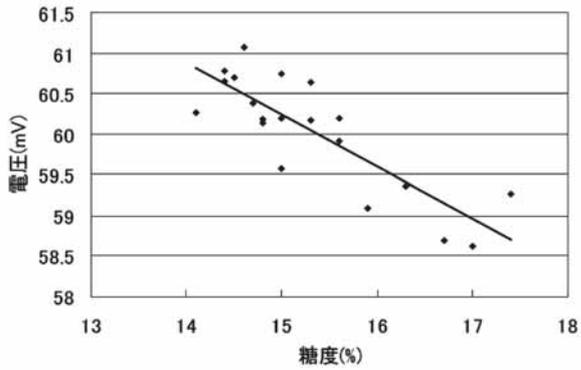


図5 果実の糖度とミリ波強度

#### 4 まとめ

- 1) 背景放射が放射計による測定結果に及ぼすメカニズムを解明した。
- 2) 背景放射が高温である実験装置を構築した結果、温度補正を加えることなく果実の糖度とミリ波強度の相関において良好な結果を得られることがわかった。

#### 5 参考文献

- 1) 小田誠, 電子情報通信学会総合大会, C-2-143 (2008)
- 2) 水野皓司, *MWE 2007*, C-01-1 (2007)
- 3) 小田誠, 室屋秀峰, 江藤誠彦, 宮崎県工業技術センター・食品開発センター研究報告, 49, 53 (2004)