

特別研究報告書

適応的背景変更による  
食材の領域と色の抽出

指導教員 美濃 導彦

京都大学工学部情報学科

川西 康友

平成18年2月10日

## 適応的背景変更による食材の領域と色の抽出

川西 康友

### 内容梗概

調理者がレシピに基づき行う調理行動を認識し、調理の状況に基づき適切なタイミングで次の操作のガイドや、調理に関する助言をするといった支援を行うシステムの実現を目指している。このような支援を行うには、調理者が扱っている食材を実時間で認識する必要がある。そこで、調理者自身や調理器具などによるオクルージョンが生じないように、調理台の上方から調理台に向けてカメラを設置し、調理台上を観測することにより、観測画像から食材の領域と色を抽出することを考える。

背景が既知であるという状況で前景の物体領域を観測画像中から抽出するには、背景差分がしきい値以上の領域を前景と判定する手法が用いられるのが一般的である。その際、青色の食材は少ないことから、背景色に青色を用いるのがよい。しかし調理では、手や食材の影が調理台の天板や食材に映ることにより観測画像中の背景色が変化したり、背景色と似た食材を調理したりする場合があるため、背景を青色にしても正確な領域を抽出することは難しい。

そこで本研究では、調理台天板下に液晶ディスプレイを埋め込み、カメラで観測した画像に応じて背景色を変更することにより、食材領域を抽出する手法を提案する。本システムでは上からの照明による手や食材の影は、調理台に埋め込まれたディスプレイの光により打ち消されるため背景色が変わることがない。また、各食材領域を含む領域の背景色を適切に変更することにより、前景と背景の色差が明確になるため、背景差分における誤差を削減することが可能となる。

これは、次のような手順により実現する。まず、ディスプレイに青色を投影し、背景差分によっておおまかな食材領域とその代表色を抽出する。次に、その代表色に応じて、その食材領域を含む周囲の背景色を変更する。前景と背景の色差を明確にするため、背景色は代表色の HSI 空間中での補色とした。複数の食材に対し、青色背景で抽出された食材領域と本手法で抽出された食材領域を比較した結果、本手法を用いることで、領域の誤差が 13.1%削減された。

次に食材の色を抽出する手法について述べる。食材の色の抽出においては、背景が明るい場合、背景色が食材に映りこんでしまい、食材の色相とは異なる色

が観測されてしまう一方、背景色が暗いと、背景からの光がなくなるため、エッジ部分が暗くなってしまい、食材領域全体から食材色を得ることができなくなるといった問題点がある。そこで、背景色の明度を段階的に変えていったときの観測画像中の食材領域の色分布の変化を計測することで、食材領域のうち最も広い範囲より、照明の明るさによらないその食材固有の表面特性を反映した色情報を抽出する手法を提案する。

背景色の彩度が高いと、背景色が物体に映り込んだ場合色相に大きく影響を与えるため、背景色は彩度を 0% とした。このときディスプレイの発光は白色の面光源とみなすことができ、上方からの照明が十分当たらない暗い食材領域を照らす照明として利用できる。しかし食材に照射すべき適切な光量は食材によって異なり、一意に決定することができない。通常、観測画像中における食材領域の色は内部と輪郭部分で変わらないことから、食材領域の輪郭部分への照射が不十分である場合や、逆に照射が強すぎて白とびしている場合は、食材領域の明度の分散は大きくなると考えられる。そこで、背景色の明度を変えながら、食材領域の明度分散が最小となる背景色の明度を探索し、そのときの食材領域の色を採用することで、照明が不足あるいは過剰であることによる色相の誤差を抑えた。たまねぎ、さといも、ピーマンに対し、本手法と、背景を食材領域の代表色の補色として色を抽出したときとを青いアクリル板を用いた固定背景を用いて抽出した色と比較した結果、背景の明度が、たまねぎは 73%、ピーマンは 14%と、59%の差があったので、食材ごとに背景の明度を変更することがよいとわかった。

上で述べた二つの提案手法を実装し、実際の調理を再現した状況において、たまねぎ、トマト、なす、ピーマンの領域抽出を行った。青色固定背景色で抽出した食材領域に比べ、本手法により抽出した食材領域ではピクセル誤差率が平均で 14.2%から 4.4%まで削減された。また、周囲の背景を食材領域の代表色の補色にしたまま食材領域の色を抽出する場合に比べ、食材領域の明度分散が最小となる色を食材の周囲の背景に表示することで、15名の被験者のうち最も多くの人々が正しい色であると答えた画像との色相のヒストグラムの差を評価したところ、その差が 39.0%から 17.7%まで削減された。

今後の課題は、本手法によって抽出した食材の領域と色を用いた認識手法を提案することである。

## Region and Color Extraction for Food Product by Background Image Control

Yasutomo Kawanishi

### Abstract

We aim to realize a system that supports cooking activities by recognizing which food products a cook is cooking with recipe information in real time. For realizing such system, we address the problem of extracting region and color information of food product from images captured by camera. We set the camera above a cooking table as the camera shoots the table from the ceiling and avoid the occlusions caused by hands, other food products and cooking equipments.

Background subtraction method is employed for extracting object region from the image, when the background image is given. However, on cooking, cook's hands and food products cast shadows on the cooking table and the color of the part of background changes. Moreover, colors of food product are diverse and can be similar with background color even if the background is any color. In such case, the part of background also extracted as object region wrongly with any parameter settings of background subtraction.

For solving these problems, we embedded LCD (Liquid Crystal Display) in the cooking table. The system can change the image projected on LCD according to the feature of food product put on the cooking table extracted by camera above the cooking table. In such kitchen system, we propose a method for extracting precise food product regions and their colors.

At the first, we describe a method for region extraction of food products. The system changes the background color around each food product region to the complementary color of the food product's main color extracted by camera roughly. The shadows on the background disappear because the LCD lights on and over the cooking table up. These structures enable to reduce the background subtraction errors and the system provides more precise regions than constant color of background. Our experiment shows that our system reduces the region extraction errors by 13.1% on average.

Second, we describe a method for extracting colors of food products. When

the background color is too bright, the system observes wrong color on edges of the food product region because such colors tend to reflect on the surface. On the other hand, when the background color is too dark, these edges of food product regions turn to be dark and the system cannot extract the color from the edges. For solving this problem, we used the LCD as a lighting instrument and control the intensity according to the each food product color. The LCD lights the dark area in the each food product region with zero saturation and acquires the colors from as large area as possible. However, it is different and cannot decide the appropriate light intensity that we should irradiate to a food product region by a food product color uniformly. The system changes the intensity incrementally and finds such intensity that the color variance of the food product region reaches the lowest value.

We implemented the system including two methods mentioned above and evaluated the capabilities of region and color extraction with several kinds of food product on our system. For the experiments, we chose "onion", "tomato", "eggplant" and "green pepper" as subjects because these frequently appeared in many recipes. The food products were put on the cooking table more than 5 cm away from the other. In the first step, we extracted their regions from captured image with our system, and also extracted the regions with constant color background for comparison, and compare with the regions extracted manually for each. In the results, our system reduced the region extraction error by 9.8% on average. In the second step, we extracted their colors with our system and with constant background intensity for comparison. In the result, our system reduced the color extraction error by 21.3% on average. It succeeded to extract their colors from wider area in the regions.

In conclusion, we proposed the system and methods for extracting region and color of food product. As a future work, we will construct recognition structure for real cooking based on the result.

# 適応的背景変更による食材の領域と色の抽出

## 目次

第1章	はじめに	1
第2章	背面ディスプレイによる食材観測システム	2
2.1	システムの概要	2
2.2	調理における食材の性質	4
2.3	食材の領域抽出に適した背景色	5
2.4	食材の色抽出に適した背景色	10
第3章	特徴抽出に適した背景色の検討	12
3.1	食材の領域抽出に適した背景色の検証	12
3.2	食材の色抽出に適した背景色の検証	14
第4章	特徴抽出の手順	18
4.1	背景画像の収録	18
4.2	食材領域の分割	18
4.3	正確な食材領域の抽出	20
4.4	食材領域の色抽出	21
第5章	実験	21
5.1	領域抽出の評価	21
5.2	色抽出の評価	24
5.3	考察	25
第6章	おわりに	25
	謝辞	26
	参考文献	26

## 第1章 はじめに

我々は調理者がレシピに基づき行う調理行動を認識し、調理の状況に基づき適切なタイミングで次の操作のガイドや、調理に関する助言をするといった支援を行うシステムの実現を目指している。このような支援を行うには、調理者が扱っている食材を実時間で認識する必要がある。そこで、調理台の上方から調理台にむけてカメラを設置し、調理台上を観測することにより、観測画像から食材特徴を抽出することを考える。調理中、多くの食材は切る・混ぜる・整形するなどの加工によって形状が変化するので、調理台上の食材は複雑な輪郭をした領域をなす場合が多く、そのような場合でも食材の領域を正確に抽出できる必要がある。また、食材の色に関しても、食材の表面の反射特性にかかわらず広い領域より抽出できる必要がある。そこで本研究では調理台天板に液晶ディスプレイを埋め込み、カメラで観測した画像から推定した食材の色に応じて背景色を変更することにより正確な食材領域および食材色を抽出することを目指す。

従来、背景が既知であるという状況では、前景の物体を観測画像中から抽出するには背景差分が用いられている。背景差分は通常、できるだけ色数が少ない単純な背景を用いる方がよく、また前景として登場する物体の色とは異なる方がよい。そこで、青色の食材はあまり存在しないことから、背景全体を青色にすれば背景差分で食材領域を得ることができるようになる。しかし実際には、手や食材の影が調理台の天板や食材に映り背景色が変わるため、背景差分をとる際、背景とみなす差分のしきい値を大きく設定しなければ影の領域も食材領域とみなされてしまう。一方、背景差分のしきい値が大きすぎると逆に背景色に近い色の食材領域を背景であるとみなしてしまい、食材領域が欠損する。

また、背景が明るい場合、背景色が食材に映りこんでしまい、食材の色とは異なる色が観測されてしまう。一方、背景色が暗いと、背景からの光がなくなるため、エッジ部分が暗くなってしまい、食材領域全体から食材色を得ることができなくなる。

本システムは一般的な調理台とは異なり、埋め込まれたディスプレイが発光するため、食材の下から光が当たり、上からの照明光による調理台の天板に映る影が打ち消される。これにより背景色が変わらないため、背景差分のしきい

値を下げる事が可能となる。

さらに、食材表面は色相で見るとほとんどの場合単色であるという特性を利用し、食材のおおまかな色に応じて、その食材の周囲の背景色を変更することで、背景差分により正確な食材領域を得ることを考える。また、ディスプレイは発光していることから光源とみなすことができ、物体色を計測する際、暗くなりすぎた食材領域を照らす照明としても利用できる。

そこで背景色を変えたときの観測画像中の食材領域の色の变化を計測することで、食材領域の最も広い範囲よりその食材の表面特性を反映した色情報を抽出する手法を提案する。

調理台では複数の食材が同時に調理されるため、食材のまとまりごとに背景色を変える必要がある。そこで、食材の各まとまりの周辺の色のみを変更することでこれに対処する。また食材が置かれていない背景領域にはテキストや映像などのガイダンスを映すことができるようになる。

2章では、食材の領域と色を得るのに適した背景色について検討する。3章では、本研究で用いる食材観測システムについて述べ、そのシステムを用いて食材の形状や色の特徴をもっとも効果的に抽出するための背景色を検証する。4章では、検証に基づいて食材の特徴抽出の手順を提案する。背景色を適応させることにより食材の領域及び色を抽出する。5章では、提案手法によってさまざまな色の食材ごとに適切な背景色が選ばれ、背景差分がより正確にできることを実験で示す。6章では、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

## 第2章 背面ディスプレイによる食材観測システム

### 2.1 システムの概要

本研究では、前景の食材に応じて背景の色を変更するため、図 2.1 のようなシステムを構築した。

調理中の画像を得るために調理者本人や調理器具などによる遮蔽を最小限に抑えるため、調理台の上方にカメラを設置し、調理台全体を観測する。調理台の天板には透明の硬化ガラスの下に液晶ディスプレイを設置した。以後、この液晶ディスプレイを背面ディスプレイと呼ぶ。

食材の特徴抽出は以下の流れで行う。まず、上方のカメラにより観測画像中より前景の食材を領域抽出部によって大まかな食材領域を抽出する。次に食材



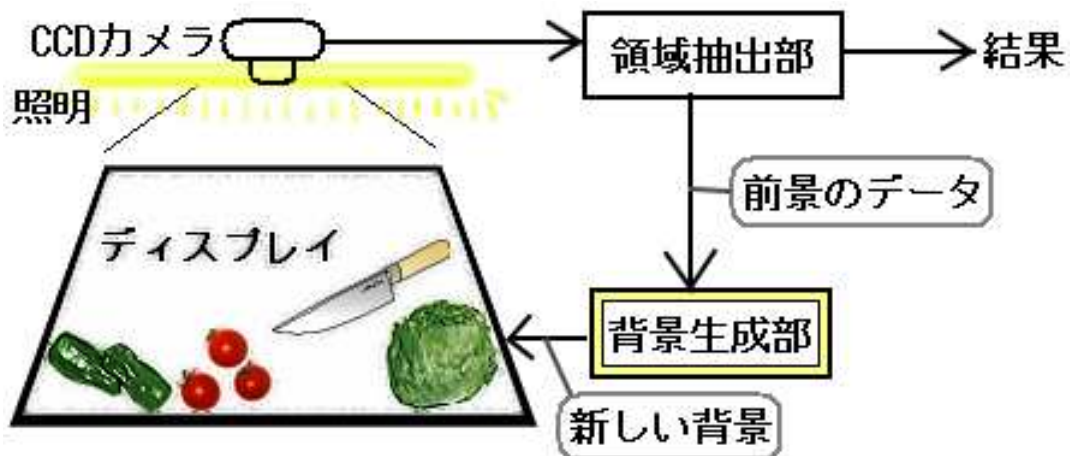


図 2.1: 背面ディスプレイによる食材観測システム

領域をまとまりごとに領域分割する。その結果に基づき，食材領域ごとに適切な色の背景画像を背景生成部によって生成してディスプレイに表示し(図 2.2)，それを観測した画像から再び領域抽出部によって食材の領域を抽出する。さらに，得られた食材色を計測するのに適切な背景を背景生成部で生成し，ディスプレイに表示して観測することで，より広範囲から食材の表面特性を反映した色を獲得する。

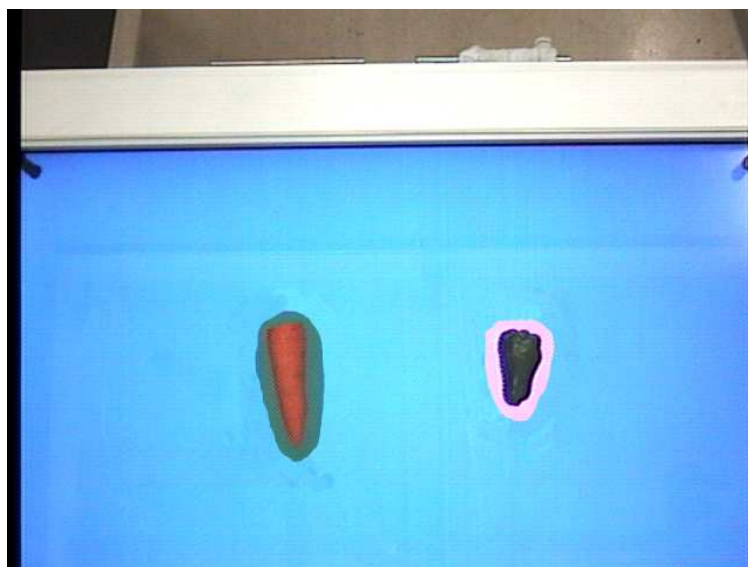


図 2.2: 生成された背景を表示したもの

図 2.1 のようなシステムでは，ディスプレイの発色特性，カメラの RGB 感

度特性，環境光の影響によって，人間に見える食材の色  $F$ ，ディスプレイの色  $D$ (図 2.3) は，観測画像中ではそれぞれ  $F'$ ， $D'$  になってしまう(図 2.4)。このような場合，ディスプレイに入力した色  $D''$  と，ディスプレイをカメラで撮影した画像中の色  $D'$  は一致しないという問題が生じる(図 2.5)。しかし観測画像で背景差分を行なうためには，ディスプレイへの入力データ  $D''$  がカメラ画像中でどのような色  $D'$  になるのかを正確に把握できなければならない。それらの色データを精密に対応付けするには，ディスプレイ，カメラの厳密な色空間の対応付けが必要になる。

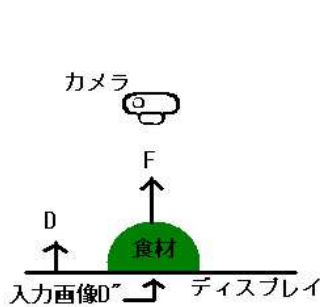


図 2.3: 実空間での色

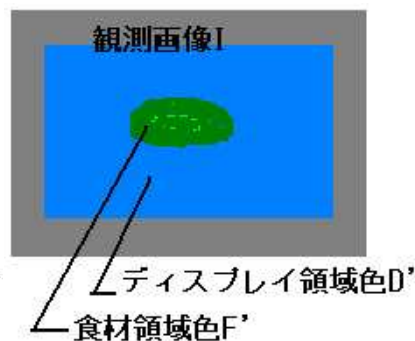


図 2.4: 観測画像中での色

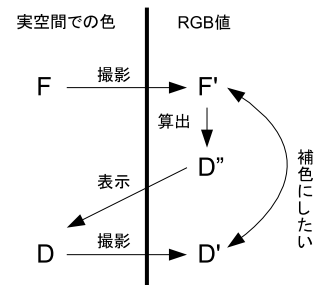


図 2.5: 色の対応

本システムでは限られた範囲の色のみ用いるので，それらの色に関してディスプレイへの入力値  $D''$  とカメラでの観測値  $D'$  の対応を調べるのは可能である。これらの色データをディスプレイに表示させたものをカメラで撮影しておくことで，ディスプレイへの入力値  $D''$  と観測画像中の色データ  $D'$  との関係を計測し，対応表を作成しておく。

観測画像中のディスプレイの色をある色にしたい時，前述の対応表を逆引きすることによって，ディスプレイに入力すべき RGB 値を知ることができる。

## 2.2 調理における食材の性質

背景の議論に入る前に，前景となる調理中の食材の特徴について考える。

まず，表面に色相が全く異なる色が混在しているような食材は少なく，個々の食材は一般的にほとんど同色の領域からなると考えられる。よって，食材表面の代表色を，それをカメラで観測したときの食材領域内の最頻出値と考えることができる。

次に、調理中、皮をむいたり切ったりした食材は一時的に皿やボールなどの食器類の上に置かれる。このため、同じ食材はある程度限られた範囲内にまとまって存在することになる(図2.6)。調理中、調理者は同時に高々一個の食材しか扱うことができないので、その時調理者が扱っている食材以外は調理台上に静止していると想定することができる。

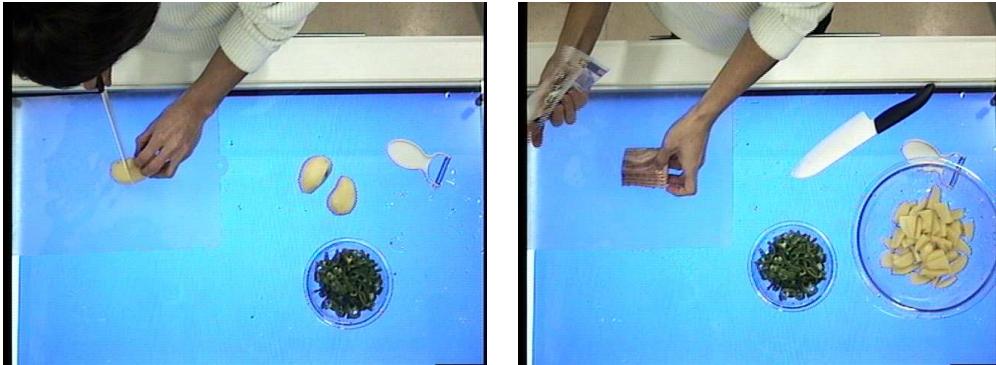


図 2.6: 調理中の食材

本システムでは、背景色を変更することにより食材の領域と色を得る手法を用いるため、プラスチックや金属製など透明でない食器を用いると食材の領域の形を得ることは難しいが、近年清潔感から透明の耐熱ガラス食器が好んで使われることが多いことから、本システムではまな板は半透明の薄いものを使い、皿、ボールなどの食器類は無色透明の耐熱ガラス食器を使用すると想定する。

以上より本システムでは以下のような仮定をおく。

1. ひとつの食材領域からはひとつの代表色を得ることができる。
2. 同じ食材はまとめて置かれ、異なる食材とは離れている。
3. 食材はしばらくのあいだ静止している。
4. 食材それぞれについて背景色を変更することができる。

### 2.3 食材の領域抽出に適した背景色

背景が既知な環境で前景の物体を画像中から抽出する手法として背景差分法がある。背景差分法とは事前に背景画像を取得しておき、観測画像と背景画像をピクセルごとに比較し、画素値の差がしきい値以下のピクセルを背景とし、それ以外の部分を前景の物体領域であるとして抽出する手法である。

この手法では、調理者や他の食材の影が背景に映る (図 2.7(i)) ことにより、その背景色が背景画像 (図 2.7(ii)) と大きく異なってしまうことによる誤差があり、さらにカメラの誤差として、カメラの RGB 感度特性による誤差、CCD にたまる電荷の誤差がある。そのため、ある程度しきい値を大きくしなければ背景の部分も前景の物体であるとみなしてしまう (図 2.8(i))。しかし、観測画像中での食材領域の画素値が背景領域の画素値に近い場合、しきい値を小さくしなければ食材の部分も背景であるとみなされ、欠損してしまう (図 2.8(ii))。このように、背景に影が映りこむ状況での背景差分による前景抽出では、しきい値の設定が非常に難しい。本システムでは照明を手や食材、調理器具がさえぎることにより天板に生じる影をディスプレイの光が打ち消すため、従来影による誤差によって背景差分処理が失敗していた問題を回避することができる (図 2.9)。

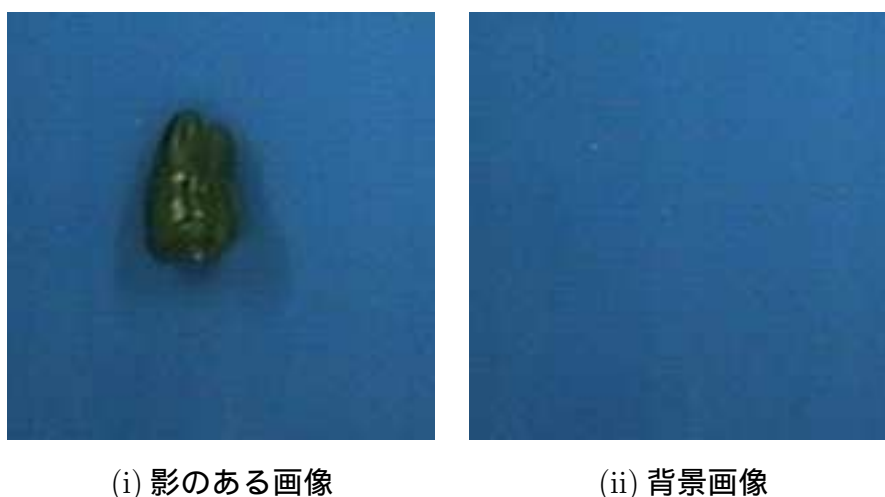


図 2.7: 影の影響

また、前景が背景と同じ色では差分が現れないため、背景の色は前景に含まれることのない色にする必要がある。食材を抽出する場合、青色の食材は少ないということから従来手法では差分をより容易にするため青色の天板が用いられていた [1]。しかし、あらかじめ背景色を 1 つに決めてしまうと前述のしきい値設定の問題があり、正確な領域を得ることは難しい。そこでカメラから得た観測画像における色空間において、背景領域の色分布を食材領域の色分布とで



(i) 閾値を大きくとったもの      (ii) 閾値を小さくとったもの

図 2.8: しきい値の設定



(i) 影がある画像

(ii) 影が打ち消された画像

図 2.9: 背景が発光していることの利点

できるだけ重ならないよう、食材ごとに背景を変更することを考える。色空間として、ここでは双六角錐カラーモデル(図 2.10) による HSI 空間 [2] を用いる。食材の表面色を HSI に変換したとき、H と S が食材の熟度や状態、I が影に依存することが報告されている [3] ことから、HSI 空間は食材の色表現空間として適していると言える。

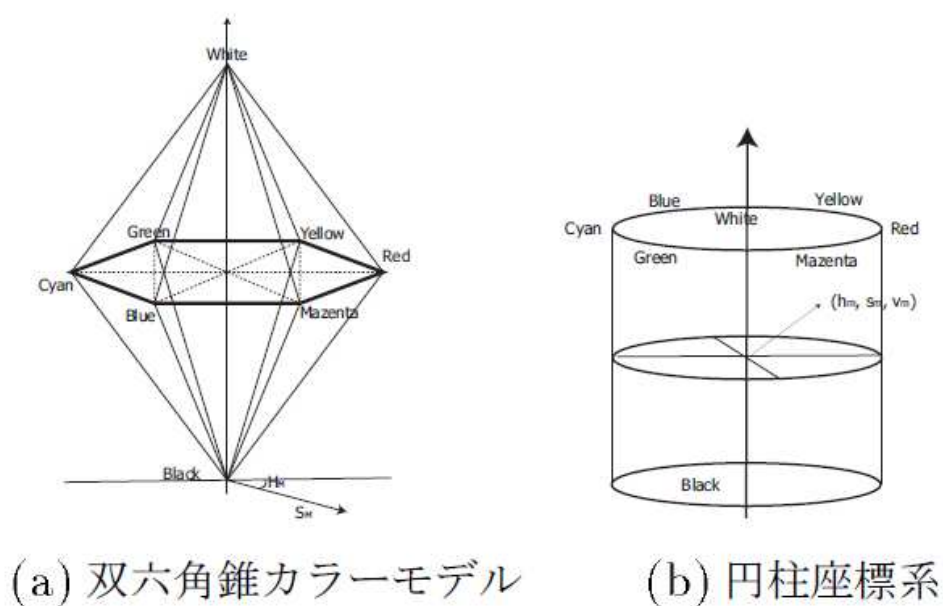


図 2.10: 双六角錐カラーモデル

RGB 空間  $(R, G, B)$  から HSI 空間  $(H, S, I)$  への変換式を式 (2.1)-(2.3) に示す。ただし、 $R, G, B, S, I$  の値域は  $[0, 1]$  であり、 $H$  の値域は  $[0, 2\pi]$  である。まず、明度  $I$  を次式で定義する。

$$I = \frac{I_{max} + I_{min}}{2} \quad (2.1)$$

ただし、

$$\begin{cases} I_{max} = \max\{R, G, B\} \\ I_{min} = \min\{R, G, B\} \end{cases}$$

次に、彩度  $S$  と色相  $H$  を次式で定義する。

$$S = \begin{cases} \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} & (I \leq 0.5 \text{ のとき}) \\ \frac{I_{max} - I_{min}}{2 - I_{max} - I_{min}} & otherwise \end{cases} \quad (2.2)$$

$$H = \begin{cases} \frac{\pi}{3}(b - g) & (R = I_{max} \text{ のとき}) \\ \frac{\pi}{3}(2 + r - b) & (G = I_{max} \text{ のとき}) \\ \frac{\pi}{3}(4 + g - r) & (B = I_{max} \text{ のとき}) \end{cases} \quad (2.3)$$

ただし,

$$\begin{cases} r = \frac{I_{max} - R}{I_{max} - I_{min}} \\ g = \frac{I_{max} - G}{I_{max} - I_{min}} \\ b = \frac{I_{max} - B}{I_{max} - I_{min}} \end{cases}$$

以下では, 表記の簡単のため  $H$  の値は  $[0, 360](^\circ)$  で表し,  $S, I$  の値は 100 倍して%表示する。

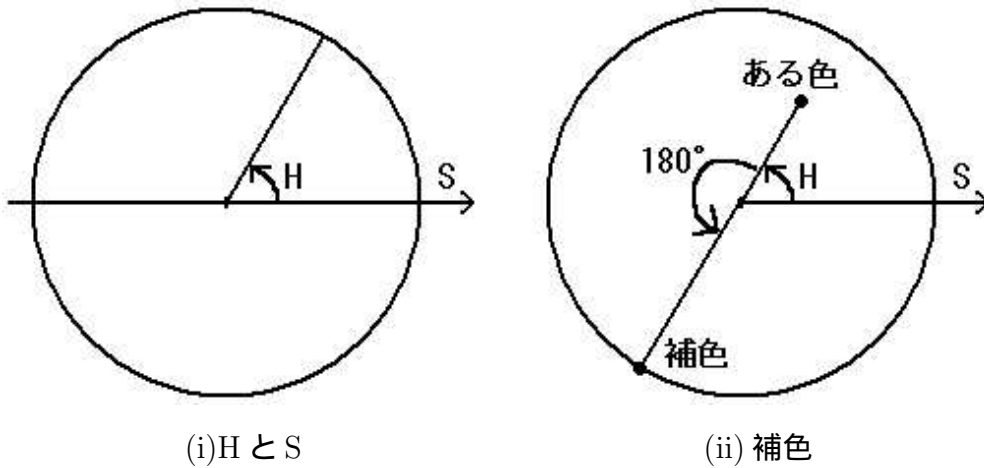


図 2.11: HS 平面

HSI 空間中の HS 平面を図 2.11(i) に示す。これは,  $H$  が角度,  $S$  が中心からの距離で表された極座標であり, この平面中で最も異なる色とは, この極座標平面中で最も遠い点の色に相当することから, 色相が  $180^\circ$  異なり, 彩度が最大となる色 (図 2.11(ii)) となる。このような色のことを以降補色と呼ぶ。観測画像中の食材の代表色の補色を背景に映し出すことで, 背景色と食材領域の色の差が大きくなる。

次に明度は 0% から 100% までの値なので, 明度 50% 以上の食材の場合, 背景色の明度を 0% (図 2.12(i)) に, 明度 50% 未満の食材の場合, 背景色の明度を 100% (図 2.12(ii)) にすると, 背景色と食材領域の代表色の明度差が最大となる。しかし, HSI 空間においては, 明度が 0% のとき黒, 100% のとき白となり色相

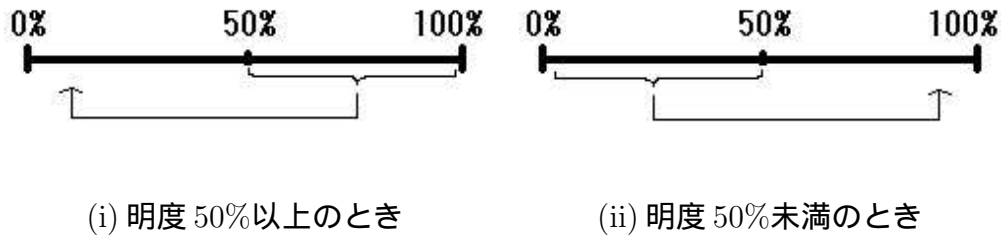


図 2.12: 背景の明度の選択

が定義できず，その値に近いと RGB 空間から HSI 空間への変換時誤差が大きくなるので，背面ディスプレイに映し出した色の色相が，期待したものと大きく異なり，食材領域と区別できない。そこで食材領域の代表色の明度が 0%～50% もしくは 50%～100% のとき背景の明度をどの値に設定すれば良いかについて，3.1 節で検証する。

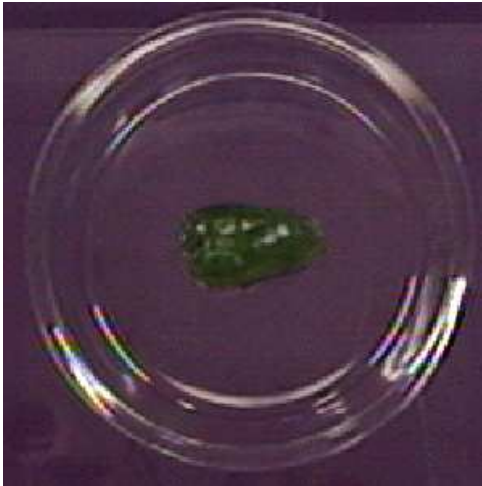
## 2.4 食材の色抽出に適した背景色

カメラのレンズ光軸はその観測画像の背景にあたる調理台天板にほぼ垂直であり，照明も同様に斜め上から照射されていることから，背景の明度が低いと食材輪郭周辺部の照明と反対の側面は光が当たらず影になる。影になった部分は，明度が低く，色相の誤差が大きいため，食材識別のための色情報としては適していない。逆に背景が明るいとき背景色が食材に映り込み，食材の種類に無関係な色が観測されてしまう。このように背景色の明度が必要以上高くても，また逆に必要以上に低くても食材全体の色が正確に抽出できない。(図 2.13)

ここで，2.2 節で述べたように，食材領域はほぼ単色で構成されることから，以上で述べたような影や映り込みの発生は，食材領域の色の分散からわかると考えられる。食材の輪郭部分の影が多いと影の部分の領域の明度は低くなり，食材領域内の明度の分散は大きくなる。また，背景の映り込みが生じている領域が大きいと映り込んだ部分の領域の明度が高くなり，食材領域内の明度の分散は大きくなる。そこで，背景の明度を動的に変化させたとき，食材の領域の明度分散を比較し，これが最も小さくなるとき，食材の最も広い領域で食材の表面特性を反映した色を抽出できると考えた。

一方，彩度に関しては背景色の彩度が高い場合，背景が食材に映り込んだときに食材の色が背景の色相の影響を大きく受けて変化してしまう。よって彩度





(i) 明度 30%の背景



(ii) 明度 70%の背景

図 2.13: 色の抽出に不適切な背景

を 0% にすることで、背景色が映り込むことによる食材領域の変色を抑えることが出来ると考えられる (図 2.14)。



(i) 彩度 100%の画像



(ii) 彩度 0%の画像

図 2.14: 背景の彩度の影響

## 第3章 特徴抽出に適した背景色の検討

### 3.1 食材の領域抽出に適した背景色の検証

2.3節で述べた HSI 空間における食材領域の代表色の補色が，背景差分により食材の領域抽出に適した背景色であるかを検証するため，以下の実験を行った。

2.3節では，背景色は食材色に含まれない青色で固定するよりは，食材領域の代表色の補色にする方が食材領域の色と背景の色の差を大きくできるということを述べた。また背景色の明度は食材領域の代表色の明度が0%~50%(暗色)か50%~100%(明色)かによって変えるのがよいと考えた。そこでまず，明度を食材が暗色の場合70%，明色の場合30%として，背景を補色とすることの効果を検証し，その後この明度の決め方が妥当であることを確かめる。

食材領域の色相から補色を計算するため，調査対象として，できるだけ幅広い色相の範囲から食材を選んだ。これらの食材を，背景を従来の青アクリル板を用いた固定背景として撮影したときの，食材領域の代表色の色相，明度を表3.1に示す。

表 3.1: 調査対象の食材の代表色

食材名	色相 (°)	明度 (%)
トマト	9	36
さといも	17	20
オレンジ	23	47
じゃがいも	32	51
たまねぎ	61	90
ピーマン	106	16
なす	253	9

(背景を従来の青色アクリル板として撮影)

比較対象である固定背景色には，色相 240 °，明度 50% の青色 (1) とした。それぞれの場合の背景色の色相と明度の値を表 3.2 に示す。

正解の食材領域は，画像編集ソフトを用いて手作業で抜き出した食材領域とし，これと背景差分により抽出された食材領域との差 (増減) が少ないほど，より正確に領域が抽出できているとみなす。

表 3.2: 背景とその色相，明度の値 (彩度は全て 100%)

背景の種類		色相 (°)	明度 (%)
(1) 青色固定背景		240	50
(2) 食材領域の 代表色の補色	オレンジ	183	30
	じゃがいも	190	30
	たまねぎ	288	30
	トマト	265	70
	さといも	269	70
	ピーマン	282	70
	なす	69	70

まず，表 3.2 の 5 種類の背景を背面ディスプレイに表示して撮影し，これをそれぞれの背景画像とした。次に，表 3.1 に示した 4 種類の食材それぞれに対し，青色固定背景 (1)，食材領域の代表色の補色の背景 (2) の二つを撮影した。正解領域との誤差を，湧き出し誤差 (湧) と見落とし誤差 (落) の合計ピクセル数の割合とした。また青色固定背景に比べ，補色背景としたとき正解との誤差の合計が何 % 減少したかを誤差減少率として評価した。この結果を表 3.3 に示す。

表 3.3: 正解領域との誤差

食材	正解 ピクセル数	青固定背景 (1)			補色 (2)			誤差 減少率 (%)
		湧	落	計 (%)	湧	落	計 (%)	
オレンジ	2006	111	541	32.5	5	150	7.7	25.5
じゃがいも	591	95	133	38.6	10	170	30.5	8.1
たまねぎ	865	15	431	51.6	75	124	23.0	28.6
トマト	1506	130	161	19.3	139	44	12.2	7.1
さといも	355	83	78	45.3	90	28	33.2	12.1
ピーマン	611	81	87	27.5	148	11	26.0	1.5
なす	1698	168	69	14.0	21	54	4.4	9.6

表 3.3 によると，青色の固定背景よりも補色背景のほうが，背景差分の精度が上がっていることがわかる。これにより，背景色を食材ごとに食材領域の代

表色の補色とすることで、背景色を固定するよりも高精度で領域抽出ができることが示された。

次に、背景色の明度の決め方の妥当性を検証する。表 3.1 中のピーマン、たまねぎに対し、背景色の色相は各食材領域の代表色の補色、彩度は 100% とし、明度を 0% から 100% まで 10% ずつ変化させて撮影し、背景差分をとった。背景差分で得られた領域と、手作業で抜き出した領域との (増減) 誤差率が少ないほど、より正確に領域が抽出できているとみなす。誤差をグラフにして図 3.1 に示す。

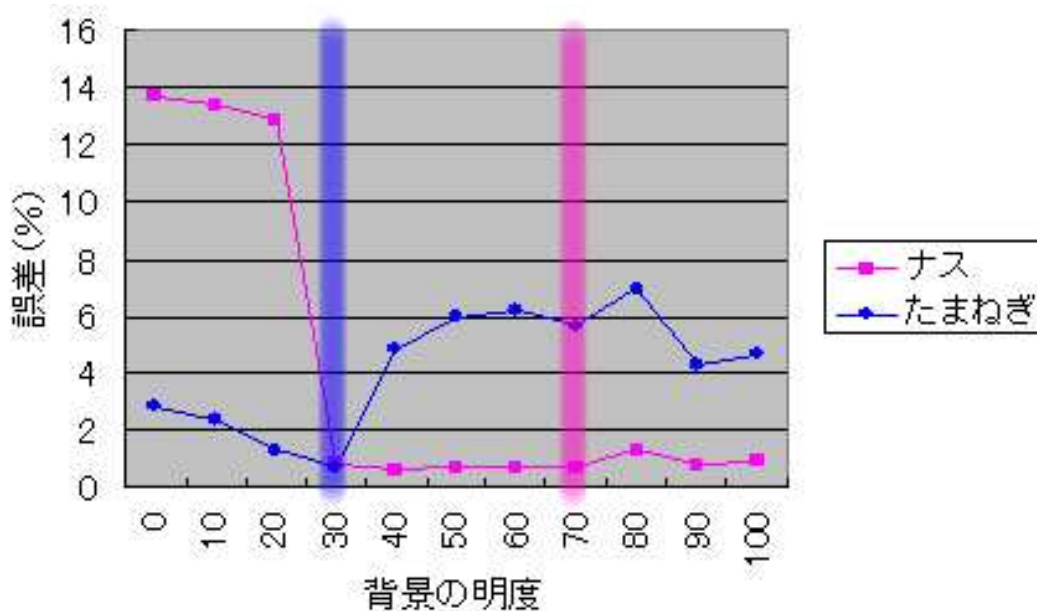


図 3.1: 正解領域との誤差

図 3.1 を見ると、明度の低いピーマンでは 70% 付近で、明度の高いたまねぎでは 30% 付近で誤差率は低い値をとる。このことから暗色の食材に対しては背景色の明度を 70% に、一方明色の食材に対しては背景色の明度を 30% にするのが妥当であることが示された。

### 3.2 食材の色抽出に適した背景色の検証

食材の色抽出に適した背景色を調べるため、以下の実験を行った。

明度が高い、あるいは低い場合、食材の色相、彩度が不安定になることから、明度の低いものから高いものまでの食材を調査対象とした。また、食材の色は

その表面の光沢によっても変化すると考えられたため，光沢の違うものとして，「たまねぎ(皮なし)」「さといも(皮なし)」「ピーマン」「さといも(皮あり)」を選んだ。これらの食材を，背景を従来の青アクリル板を用いた固定背景として撮影したときの，食材領域の代表色の色相，明度を表3.4に示す。また，ここではその観測画像中での食材領域は前節の仕組みによりすでにわかっているものとする。

表 3.4: 調査対象の食材の代表色

食材名	色相 ( ° )	明度 (%)	光沢
たまねぎ (皮なし)	115	92	あり
さといも (皮なし)	49	66	なし
ピーマン	61	24	あり
さといも (皮あり)	48	19	なし

(背景を従来の青色アクリル板として撮影)

食材に背景が映りこむと，食材領域の色が変化してしまう。映り込みは食材表面の明るさと光沢に関係すると考えられる。実験用いた食材の光沢は表3.4となっている。

まず，食材への映りこみの影響は背景色の彩度によって変わると考えられることから，背景色を彩度100%で色相は食材領域の補色にしたものと，彩度0%(このとき色相は定義できない)の2種類について，明度を0%から100%まで変化させて各食材を撮影したときの食材領域の色相の分散を調べた(図3.2, 3.3)。

図3.2, 3.3を比較すると，背景の彩度が大きい場合，背景の明度の変化によって食材領域の色相が大きく変化することがわかる。これは，背景色の彩度が高いと，背景色が物体に映り込んだときに食材の色相を大きく変化させてしまうからである。このことから，食材の色を抽出する場合，背景の彩度を0%とすることにより背景色の影響の少ない食材の色を得ることができることがわかった。

次に，背景の彩度が0%(色相の値は不定)のとき，背景色の明度を0%~100%まで変化させたときの，食材領域の明度の変化を調べた。食材領域の明度の分散の変化を図3.4に示す。

図3.4で背景の明度が低いときと，高いときは食材領域の明度分散は共に大きく，また食材領域の明度分散が小さくなるときの背景の明度は，食材領域の

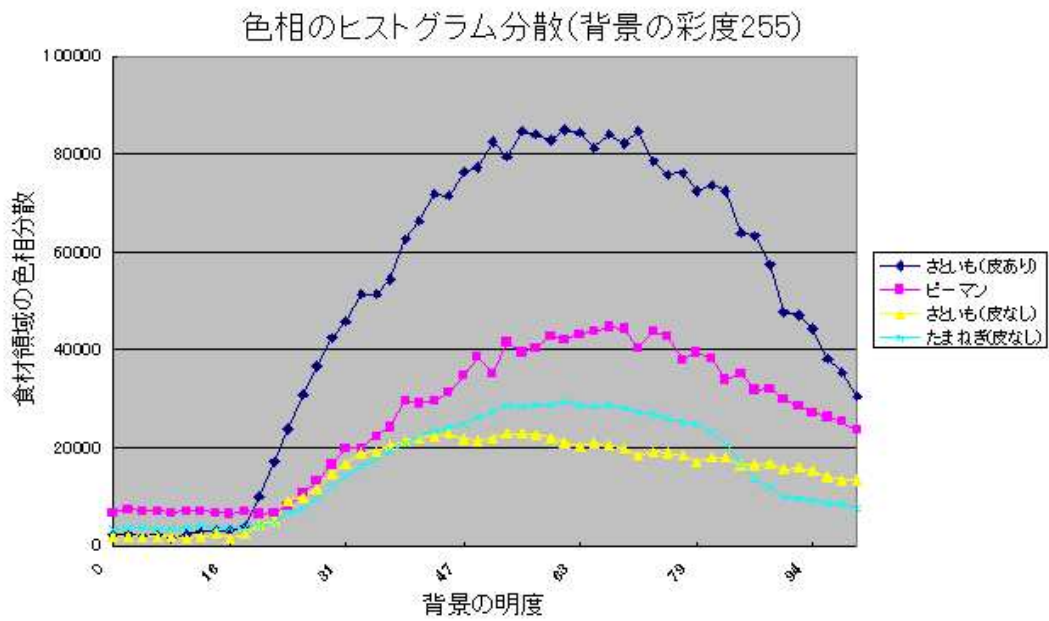


図 3.2: 食材領域の色相の分散 (彩度 100%)

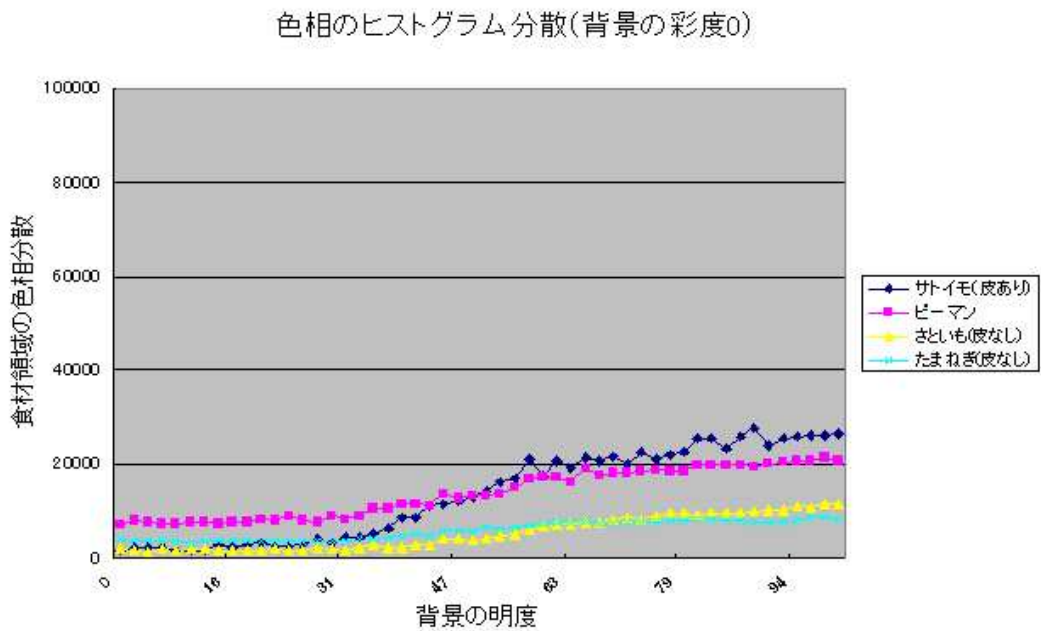


図 3.3: 食材領域の色相の分散 (彩度 0%)

明度のヒストグラム分散(背景の彩度0)

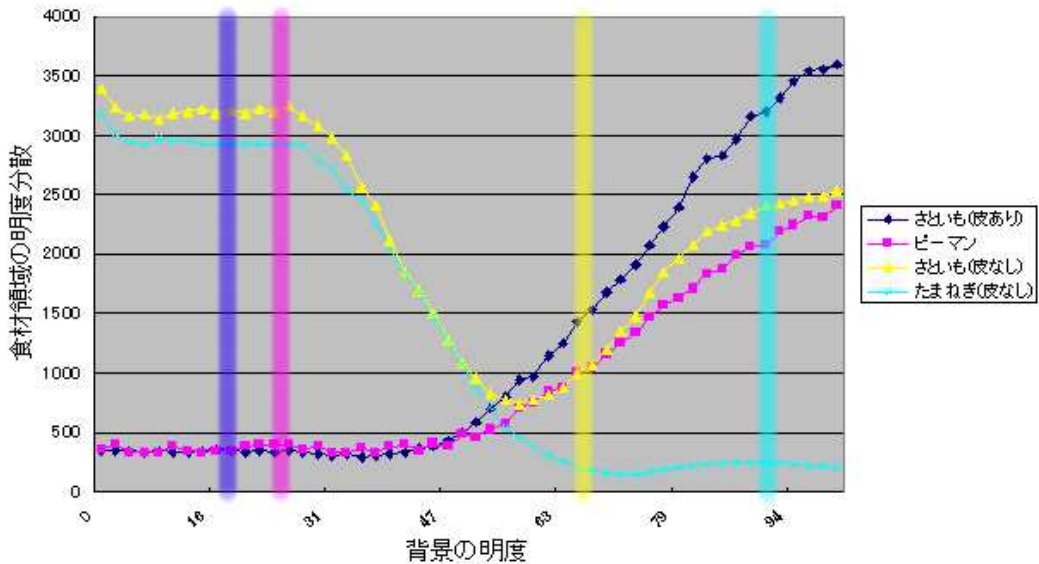


図 3.4: 食材領域の明度の分散

代表色の明度に近いことがわかる。それは、背景色の明度が高いと、背景色が映り込んだ食材部分の明度が背景の影響で高くなり、一方背景色の明度が低いと食材の輪郭部分は暗くなり、明度が下がるからであると考えられる。

食材領域の明度分散が最小となるときの背景の明度は、0%でも100%でもなく、食材領域の代表色の明度付近にある。そのとき最も広い範囲から食材の色を抽出することができる。その背景色は、背景色の明度を食材領域の代表色を中心に变化させ、食材領域の色相分散が最小となる明度を探索することで決定する。

図 3.4 中の背景の明度が低いときのピーマン、さといも（皮あり）の明度分散が小さくなるのは、食材領域の明度が元来低く、背景色を暗くしても食材領域との明度差が現れなかったため、このような場合食材領域全体から食材の色を抽出できているとはいえない。同様に、背景の明度が高いとき、たまねぎ（皮なし）の明度分散が小さいのは、映り込みによって食材領域の大部分が白飛びしてしまっているため、このような場合も食材領域全体から食材の色を抽出できているとはいえない。

以上の結果によって、食材の色を抽出する場合、背景の明度は食材ごとに食材領域の代表色の明度周辺を探索することによって最も食材領域の明度分散が

低くなるように選ぶことで，より背景色の影響のない物体色を得ることができ  
ることが示された。また，食材表面の光沢によって色の变化に違いがあると考  
えられたが，食材の光沢による違いは特に見られなかった。

## 第4章 特徴抽出の手順

### 4.1 背景画像の収録

まず，背景差分を行うための背景画像の撮影をしておく。提案手法では食材  
ごとに，その色相，明度に応じて背景の色を変更して背景差分を行うので，取  
りうる色の背景をあらかじめすべて撮影し，データベースに入れておく。撮影  
する背景画像は，

- 4.2 で用いる青色固定背景 (色相  $240^\circ$ ，彩度 100%，明度 50%)(1 枚)
- 4.3 で用いる領域抽出用の背景 (色相  $1^\circ$  ごとに撮影)(720 枚)
  - 明度 50%以上の食材用の背景 (明度 30%) $\times$ 360
  - 明度 50%未満の食材用の背景 (明度 70%) $\times$ 360

の計  $(1+720=)$ 721 枚となる。

同時に，これらの背景色のディスプレイへの入力値  $D''$  に対する観測画像中  
でのディスプレイの領域の代表色  $D'$  を求めておき，観測画像中のディスプレイ  
にある色を表示させたいときに，どのような値をディスプレイに入力すればよ  
いかがわかるようにしておく (図 4.1)。

### 4.2 食材領域の分割

最初は，調理台上にある食材に関しての知識がないので，背景を色相  $240^\circ$ ，  
彩度 100%，明度 50%の青色にし，撮影して画像を取り込み  $I_b$  とする。

青色背景の画像を背景画像データベースから読み込み， $I_{bb}$  とする。

次に画像  $I_b$  と背景画像  $I_{bb}$  で背景差分を行い，前景の領域を得る。背景差分  
のしきい値は HSI ごとにそれぞれ  $T_H$ ， $T_S$ ， $T_I$  とする。

$$\begin{aligned} \text{背景領域} &= H(I_b) - H(I_{bb}) < T_H \\ &\text{かつ } S(I_b) - S(I_{bb}) < T_S \\ &\text{かつ } I(I_b) - I(I_{bb}) < T_I \\ \text{前景領域} &= \text{上以外} \end{aligned}$$



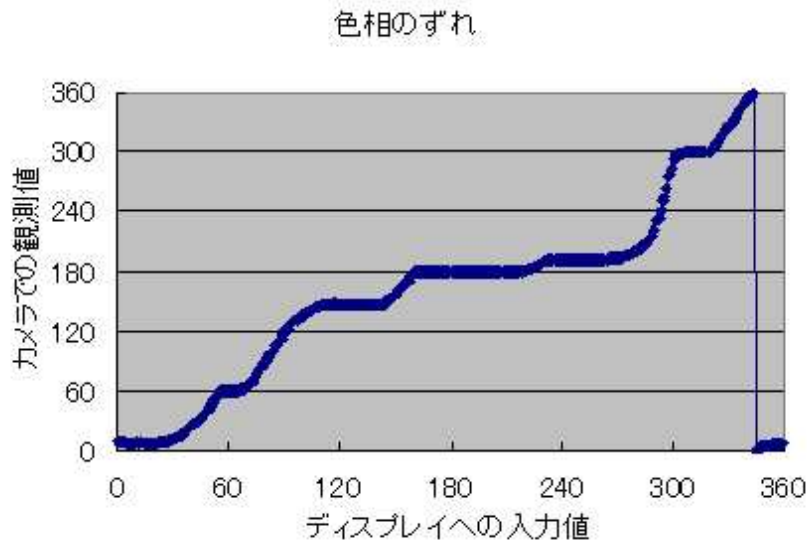


図 4.1: 例：彩度 100%，明度 50%のときの，ディスプレイへの入力  $H$  とカメラでの観測  $H$  の対応

として前景の領域  $F$  を得る。 $F$  には背景差分の誤差による小領域が含まれている。それらを除去するため，領域を  $n$  ピクセル膨張/縮小させる。膨張のアルゴリズムは，

1. 画像をラスタ走査し，背景領域に属し，かつ近傍 (4 連結) の少なくともひとつが前景領域  $F$  に属している画素を探し，フラグを立てていく。
2. 再び画像をラスタ走査し，フラグが立っている画素を，前景領域  $F$  に統合する。
3. 1, 2 を  $n$  回繰り返す。

である。同様に縮小のアルゴリズムは

1. 画像をラスタ走査し，前景領域  $F$  に属し，かつ近傍 (4 連結) の少なくともひとつが背景領域に属している画素を探し，フラグを立てていく。
2. 再び画像をラスタ走査し，フラグが立っている画素を，背景領域に統合する。
3. 1, 2 を  $n$  回繰り返す。

となる。本システムの観測画像中ではおよそ  $1\text{cm}=15$  ピクセルである。食材は調理台上に種類ごとに分けて置かれているので，異なる食材は少なくとも  $2\text{cm}$  は離れて置かれていると考え， $n = 10$  とした。

得られた前景領域を，単純領域拡張法 [4] によって 4 連結の領域で領域分割を

行い，分割された画像中の各領域を  $D_i (i = 0, 1, \dots, N)$  とする。単純領域拡張法のアルゴリズムは，

1. 画像をラスタ走査し，どの領域にも属していない画素を探す。
2. その画素の画素値と，その近傍 (4 連結) でどの領域にもまだ属していない画素の画素値を比較し，しきい値  $\theta$  以下ならひとつの領域として統合し，ラベルをつける。
3. 新たに統合された画素に対し，2 の操作を行う。
4. 2, 3 の操作をそれ以上領域が広げられなくなるまで反復する。
5. 1 に戻って新たな画素を探し，処理を繰り返す。

である。

### 4.3 正確な食材領域の抽出

まず 4.2 節で得られた領域  $D_i (i = 1, 2, \dots, N)$  に対し，他の領域と重ならないように  $m$  画素膨張させ，膨張させた領域を  $E_i (i = 1, 2, \dots, N)$  とする。ここでの膨張は 4.2 のものとはほぼ同じであるが，フラグに領域  $D_i$  の ID を持たせ，2 で前景領域に統合する代わりに領域  $E_i$  に統合する。ここでは，食材領域に領域  $E_i$  以外からの影響が及ばないように，領域  $E_i$  はなるべく広い方がよい。そこでおよそ  $3cm$  つまり  $m = 50$  ピクセルにした。ただし，膨張処理の前に  $E_i = D_i$  としておく。膨張処理の結果， $E_i \supset D_i$  を満たす。

次に，各領域  $D_i$  の代表色を求める。領域  $D_i$  ごとに，色相，明度のヒストグラムを求め，最頻出値をその領域の代表色とし， $H_r(D_i)$ ， $I_r(D_i)$  で表す。

$D_i$  の補色を求め， $E_i$  の色とする。ここで  $E_i$  の色相，明度を  $H(E_i)$ ， $I(E_i)$  で表すとする。領域  $E_i$  の色を，色相は食材領域  $D_i$  の補色，彩度は 100%，明度は食材領域の明度  $I(D_i)$  に応じて  $I(D_i) < 50\%$  の場合 70%，それ以外の場合は 30%，として背面ディスプレイに表示し，画像  $I$  にカメラから観測画像を読み込む。

$$\begin{aligned} H(E_i) &= \begin{cases} H_r(D_i) + 180 & \text{if } H_r(D_i) < 180 \\ H_r(D_i) - 180 & \text{otherwise} \end{cases} \\ S(E_i) &= 100 \\ I(E_i) &= \begin{cases} 70 & \text{if } I_r(D_i) < 50 \\ 30 & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned}$$

各領域  $E_i$  に対応する背景画像を  $I_{b_i}$  に読み込む。それぞれの食材領域  $E_i$  のみに注目し、 $E_i$  の領域内で画像  $I$  と背景画像  $I_{b_i}$  との差分をとり、得られた領域を  $D_i^e$  とする。これによって、正確な食材領域  $D_i^e$  が得られる。

#### 4.4 食材領域の色抽出

各領域  $E_i$  の明度を変え、各食材領域  $D_i^e$  内の明度分散が最小となるような明度を探索する。食材領域の明度  $I_r(D_i)$  をもとに、背景の明度の探索範囲を決定する。 $I(D_i) < 50\%$  のときは、 $0\% \sim 50\%$  の範囲を、そうでないときは、 $50\% \sim 100\%$  の範囲を探索する。この範囲内で背景の彩度を  $0\%$  にし、明度を  $1\%$  ずつ変更して以下を繰り返す。観測画像  $I$  中の各領域  $D_i^e$  に対し、その領域内の明度分散  $V_i$  を計算し、 $V_{min_i}$  と比較して小さければ  $V_{min_i} = V_i$  とする。またそのときの背景色の明度を  $I_{min}(E_i)$  とする。

得られた背景色の明度  $I_{min}(E_i)$  をそれぞれの領域  $E_i$  の明度として背面ディスプレイに映す。

$$S(E_i) = 0$$

$$I(E_i) = I_{min}(E_i)$$

画像  $I$  にカメラから観測画像  $I$  を読み込み、観測画像  $I$  における領域  $D_i^e$  から各食材領域の色  $C(D_i^e)$  を得る。

以上により、各食材  $i$  の領域  $D_i^e$  と色  $C(D_i^e)$  が得られる。

## 第5章 実験

本章では2.1節で述べたシステムにより調理を行い、第4章で述べたアルゴリズムにより食材領域およびその色を抽出し、従来手法や手動による抽出と比較し、その正確さを評価する。

### 5.1 領域抽出の評価

実験用サンプルとして

- たまねぎ
- トマト
- なす
- ピーマン

の3つの食材を用意した。これらの食材をそのまま、あるいは皮をむく、切るなどの加工を加え、調理台上に配置することで調理中の状況を再現し(図5.1)、食材の領域と色を提案手法に沿って抽出した。

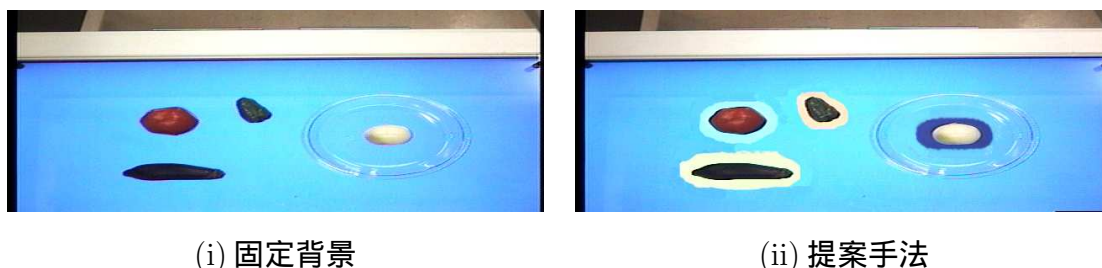


図 5.1: 領域の評価

青色固定背景で観測したときの各食材領域ごとの代表色から本手法によって生成された背景色を表5.1に示す。

表 5.1: 領域抽出用背景色 (全て彩度の値は 100%)

食材名	背景色の色相, 明度の値	
	色相 (°)	明度 (%)
たまねぎ	240	70
トマト	176	185
なす	70	185
ピーマン	30	185

従来手法として固定した背景(図5.1(i))で背景差分を行って得られる領域(図5.2(i))と、提案手法(図5.1(ii))を用いて食材に応じて背景色を変更して得られる領域(図5.2(ii))とを、手動で抜き出した領域(図5.2(iii))を正解としたときのピクセル誤差を用いて比較する。

その結果を図5.3に示す。

これによると、固定背景より背景を適応的に変更した方がより正確な領域抽出が可能であることがわかる。













方法\食材	たまねぎ	トマト	なす	ピーマン
(i) 青色固定背景				
(ii) 提案手法				
(iii) 手作業の領域				

図 5.2: 抽出した食材領域

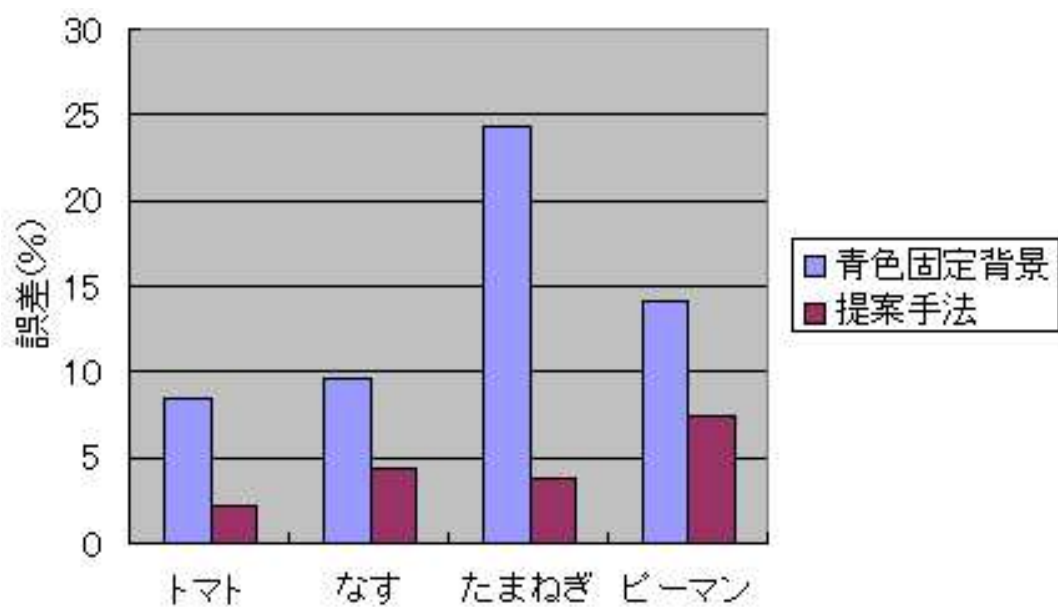


図 5.3: ピクセル誤差

## 5.2 色抽出の評価

次に、提案手法による色抽出法により、きれいに食材の色を抽出することができているかを評価する。

提案手法の領域抽出部によって抽出した各食材領域 (図 5.2(ii)) に対し、背景を補色にしたときの食材領域の色と、提案手法の色抽出部によって食材ごとにその食材領域の明度分散が最小となるような背景を探索してその食材領域の色を得たものとを、背景の明度を 0% から 100% まで 10% ずつ変えて撮影した 11 枚の画像中で人間がみて最も食材領域全体から食材領域の色がわかる画像の食材領域の色を正解として比較した。正解の画像を選ぶ際、アンケートをとって最も多くの人を選んだ画像を正解とした。色の比較として、色相のヒストグラムの誤差の差をとり、その合計を領域のピクセル数で割ったものを色の誤差とした。

結果を図 5.4 に示す。

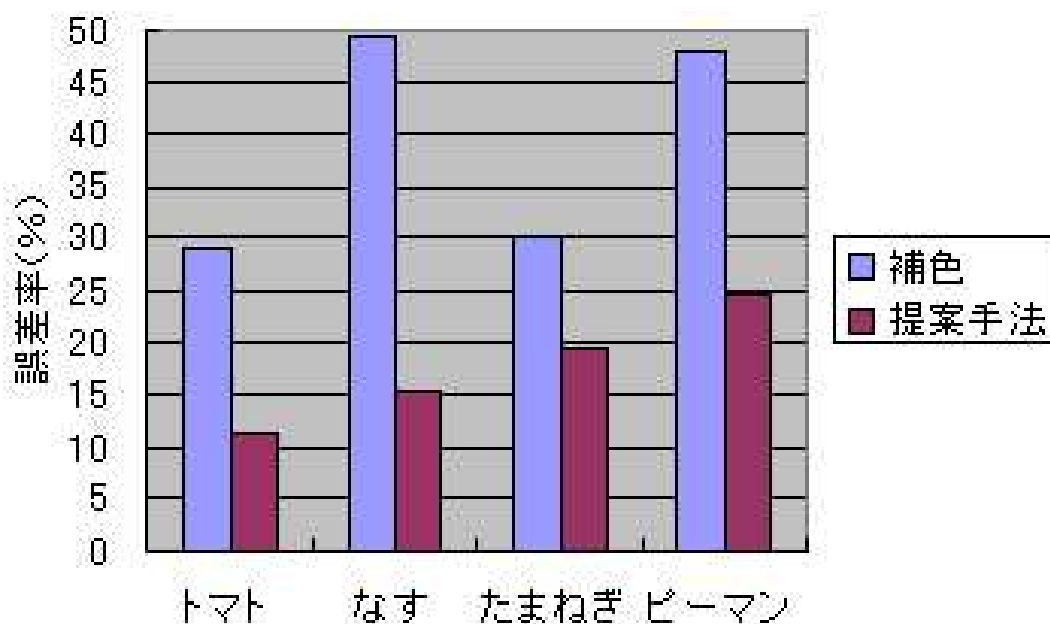


図 5.4: 色の誤差

図 5.4 により、正解との誤差の少ない食材色が得られていることがわかる。

### 5.3 考察

5.1 節と 5.2 節の実験により、提案手法によって物体の領域および色が少ない誤差で得られることがわかる。

本手法では、食材の領域と色を抽出する際、画像は領域抽出に 2 フレーム、色抽出にはさらに 50 フレーム必要になっており、動いている物体の色を抽出することが難しい。

本システムでは、調理者は背面ディスプレイに向かって調理をすることになる。調理中に背面ディスプレイの画面が頻繁に切り替わると調理者は調理に専念できず、調理の妨げになってしまうが、背景の色を食材の周辺部分のみ局所的に変更することにより、できるだけ調理の妨げにならないようになる。

## 第 6 章 おわりに

本論文では、調理中、調理台上に存在するさまざまな色、形状の食材に応じてその背景に適切な背景色を表示することによって背景色を固定した場合に比べ、より正確な食材の領域と色の抽出を行うシステムを提案した。背景差分によって領域を抽出する場合や、その領域の色を抽出する場合にそれぞれ適する背景色が異なることを実験により示した。

本システムを用いると、背面ディスプレイの発光が食材に映り込むことにより、食材領域の色が変わってしまう。また背景が暗すぎると食材の輪郭部分が暗くなり、色相が不安定になって正確な色を抽出できない。そこで、食材領域の明度分散が最小となる背景色の明度を探索し、表示することで、食材領域への背景色の映り込みを抑え、同時に照明が十分でない領域を照らし、照明が不十分であることによる色相の誤差を抑えた。

提案手法を実装し、実際の調理を再現した状況において、たまねぎ、トマト、なすの領域抽出を行ったところ、固定背景色での抽出に比べ、平均で 9.8% の精度向上が得られた。また、色は、背景を補色のまま抽出した場合に比べ、平均で 21.3% の精度向上が得られた。今後の課題は、領域抽出の精度向上および色抽出用背景の探索の高速化を行い、本手法を実際の調理に適応して領域および色抽出の精度を評価することである。また、本手法によって抽出した特徴量を用いて食材を認識し、それによって調理を支援するシステムを実現することも今後の課題である。

## 謝辞

本研究を行うにあたり多くのご教示，熱心な御指導を賜りました美濃導彦教授に深く感謝致します。また，日頃より熱心な御指導くださいました美濃研究室の角所考助教授に深く感謝致します。最後に，日頃より熱心な御指導と本報告書の作成においても数多く助言をいただきました美濃研究室の山肩氏をはじめとする認識グループの皆様方および美濃研究室の皆様方にも深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] 山肩洋子, 正司哲朗, 角所考, 美濃導彦: アシスタントエージェントとの音声対話による調理コンテンツの自動生成, 信学技報 (2005).
- [2] 高木幹雄, 下田陽久 [監修]: 新編 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会 (2004).
- [3] 元永佳孝, 亀岡孝治, 橋本篤: 農産物表面色の色彩画像処理システムの構築, 農業機械学会誌, Vol. 59.
- [4] 田村秀行: コンピュータ画像処理, オーム社 (2002).