

# 院内用食事摂取量計測システムの開発

竹田史章 \*

熊田花奈子 \*\*

高良元子 \*\*\*

\* 高知工科大学工学部

〒 782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口 185

\*\*,\*\*\* 高知工科大学工学部

〒 782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口 185

\*E-mail: \*takeda.fumiaki@kochi-tech.ac.jp, \*\*040284a@ugs.kochi-tech.ac.jp,  
\*\*\*040299c@ugs.kochi-tech.ac.jp

**要約**：現在、入院患者の食事管理の方法は個々の患者に対し、栄養士が食事の食前食後状態を目視で確認し、食品成分表と照合し摂取量を測定している。したがって、測定基準は曖昧である。また、入院患者数、および、患者ごとの異なる摂取量と記録に膨大な手間と時間が費やされている。そのためこの作業を、栄養士を補助する形で自動計測・記録したいという関係者の強い要望がある。そこで著者らは知的画像処理による食事摂取量計測システムの開発を提案する。システムの概念は食前食後の画像を比較観察し、摂取カロリーを算出するものである。システムは複数のサブシステムから構成される。その処理流れは撮影装置で食膳を撮影しトレイから食器および食材を抽出する。つぎに食材画像の変化量を計測する。とくに、トレイ画像から個々の食器画像を高速で特定するためにニューロ技術を応用する。また、食器画像から食材画像抽出にはラベリングと8近傍収縮処理を併用する。最後に、食材画像の変化量を面積で評価し、食物データベースにより摂取カロリーを算出する。本論文では、これらのサブシステムの性能を院内環境に近い状態で定量的に示す。

**Abstract** : Conventionally, the dietitians observe after food intake image and they measure amount of food intake by comparing with food intake image. Measuring standard is vague because of their manual procedure. The dietitians are needed hard work by considering large number of patients, menu, variety of amount of food intake. Therefore, there are some demands such as automatic measuring for amount of food intake. We propose a measuring system for food intake using neural network (NN). Basic concept of this system is comparing with difference between before food intake image and after food intake one.

The proposed system captures whole tray image by the camera and it extracts dish image from the tray image with the NN. Food image is extracted from dish image with image processing. Finally it can measure amount of difference between before food intake image and after food intake one. We show effectiveness of the proposed system by simulation.

## 1. はじめに

現在、入院患者の食事管理の方法は、個々の患者に対し、栄養士が食事の食前状態と患者が食事を終えた食後状態を目で確認し、食品成分表と照らし合わせて食事の摂取量を測定している。したがって、測定基準は目分量であり一定しているとはいえない。また、入院患者数、および、食事のメニュー数、さらに、患者ごとに異なる摂取量と、それらを記録として残す作業を考慮すると、膨大な手間と時間が費やされている。そのため、これらの作業を栄養士に代わって機械で計測・記録したいという病院関係者の強い要望がある。そこで、このような背景の下で、著者らはニューラルネットワーク（NN）を用いた食事摂取量計測システムの開発を提案する<sup>(1)(3)</sup>。このNNによる識別手法は紙幣識別や筆跡による個人認証などの識別分野において幅広い応用力を有していることを著者らはこれまでに報告している<sup>(4)(15)</sup>。提案システムの基本コンセプトは、食前および食後の画像をシステムで比較観察し、患者が摂取したカロリーを算出するものである。提案システムの処理流れは、撮影装置で食膳を撮影後トレイから食器および食材を抽出し、つぎに食材画像の変化量を計測する。提案システムでは、トレイ画像から個々の食器を高速で特定するためにNNを応用している<sup>(6)</sup>。また、食器画像から食材画像の抽出にはラベリングと8近傍収縮処理<sup>(16)(18)</sup>を併用している。最後に、食前後の食材画像の変化量を面積で評価し、食物栄養素データベースとリンクして摂取カロリーを算出している。本論文では、これらの食器確定ならびに食材抽出などのサブシステムの個々の性能を院内に近い環境を模倣した形で定量的に示す。

## 2. 現状の食事摂取量計測手続き

院内における入院患者の食事管理方法は、栄養士が患者に食膳を配膳する前の状態と患者が食事を終えた後の状態の2つ状態を目で確認し、

食品成分表と照らし合わせて、個々の患者毎の摂取量を計測している。現状の食事摂取量計測に関する問題点は、患者が摂取した食事の量を計測する際に、栄養士が目視で残量から摂取量を決定している点である。そのため測定値はいまいで測定基準が栄養士によって異なる。また、図1に示すように個々の患者の食事をすべて栄養士の目で計測するため作業効率も高くない。さらに、患者個人の計測データの管理においても電子化されていないなどの問題点がある。



図1 現状の院内における食事管理風景

一方、著者らが実施した病院関係者に対する食事摂取量計測システムについての図2に示すようなアンケートによると、アンケート回答者全体の約80%が食事摂取量計測システムに高い関心を示していることが判明している。

## 3. 食事摂取量計測システムの提案

2で述べた現状の食事管理における問題点を解決するために、著者らは食事摂取量計測システムの開発を提案する。提案システムの基本コンセプトは、食前および食後の画像を比較し、食材成分表から摂取されたカロリーを算出する。システム概観を図3に示す。筐

体内上部の4隅には25Wくもり電球を4個取り付けている。撮影にはカラーカメラ（解像度：320×240）を使用し、ソフトウェア部分を格納するPC(Personal Computer)への接続はUSB(Universal Serial Bus)ポートを使用している。

Question 1  
Do you need measuring system for food intake?

1. Yes ...26 / 57  
2. No ...2 / 57  
3. No thinking...29 /57

(a) Question 1

Question 2  
Question for no thinking man.

1. We should take this system. 0 / 29  
2. We have an interest this system. 12 / 29  
3. We should consider this system. 5 / 29  
4. We don't have an interest this system. 4 / 29  
5. No answer. 8 / 29

(b) Question 2

図2 アンケート調査結果



図3 提案システム概観

システム構成を図4に示す。提案システムでは、2値化による食器形状取得サブシステム、NNによる食器確定サブシステム、食器上の食

材画像抽出サブシステム、食物データベース、摂取量計算サブシステムに大分類される。また、これらのサブシステムはメインシステムとリンクしてプログラムとしてPCに格納され、メニュー登録から計測判定までがPC上でのオンライン処理となる。摂取カロリーの算出には食事トレイ全体での画像ではなく、食器ごとに残留する食材の画像を食前画像と比較することによって実施される。提案システムを導入することにより、以下の効果が期待される。

- ・ 正確な測定が可能
- ・ データ管理が容易
- ・ 短時間で自動計測が可能
- ・ 一定の基準で測定可能
- ・ 長期的な患者の栄養管理が可能
- ・ 独居老人などの遠隔食事指導が可能

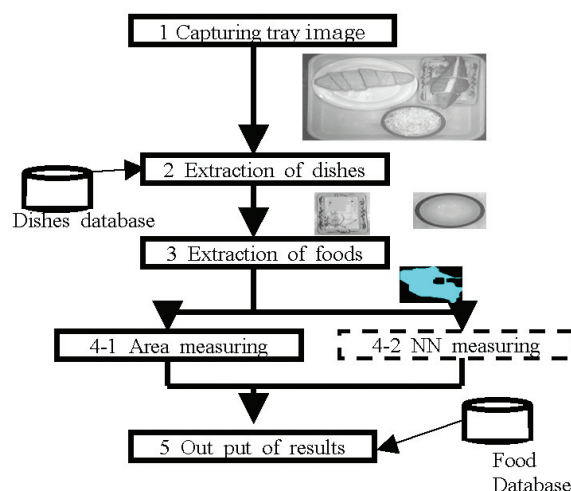


図4 システム構成と処理フロー

### 3.1 反射光の縮小

まず、電球の照射による反射光の影響を縮小するために、著者らは試行錯誤の下に図5(a)に示すような半透明なアクリル板製の拡散板を図5(b)のように電球と撮像部間に設置している。これにより図5(c)のような反射光が図5(d)のように縮小されることが可能となっている。

### 3.2 トレイから食器の確定

ここでは、食器確定サブシステムの基本構成を示す。本サブシステムは食器データベースシ

システムより得られる食器の情報を用いて、食膳の画像から食器を確定する。

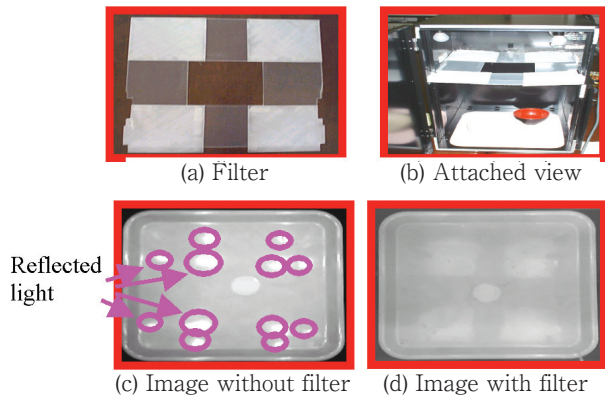


図5 反射光の縮小

食器確定用 NN の構造は図6に示すように、3層の階層型である。この NN の入力層には、食器の外縁を取り出す際に使用するしきい値、食膳画像における食器の半径、縦、横の長さ（画素数）、食器の濃淡画像が入力値として入力される。また、出力ユニット数は登録した食器数に対応する。学習アルゴリズムは(1)式で示される改良型 BP 法<sup>(4)(12)</sup>を使用する。NN によって出力された値のうち、最も高い値を出力したパターンに相当する食器が、入力された食器と確定され抽出される。その処理流れは、まずカメラで食器画像を取り込み、その画像の2値化処理を行う。次に、処理部分と食器データベースシステム間で食器の情報を取得する。この際の食器の情報とは、トレイに載っている食器の数、食器の種類、形状、2値化のしきい値などを示している。

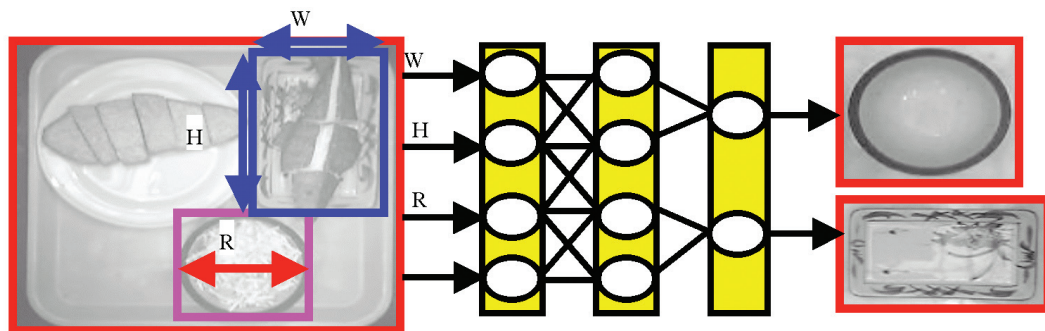


図6 NNによる食器画像の確定

$$\Delta W_{ij}^{k-1,k}(t) = -\varepsilon \delta_j^{k-1} + \alpha \Delta W_{ij}^{k-1,k}(t-1) + \beta \Delta W_{ij}^{k-1,k}(t-2) \quad (1)$$

ここで、 $\Delta W$ はウエイトの修正量、 $\varepsilon$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ は定数、 $\delta$ は一般化誤差、 $o$ は出力をそれぞれ示す。

図7に示すように食膳画像から一定の間隔で画像を切り出して、その切り出し画像から抽出された形状および画像を NN に入力する。食器データベースシステムより取得した情報を NN に入力した場合の反応と同様に NN 反応が最大発火した場合、その切り出し画像が目的の食器を含むものと判断される。以上により食器が確定される。

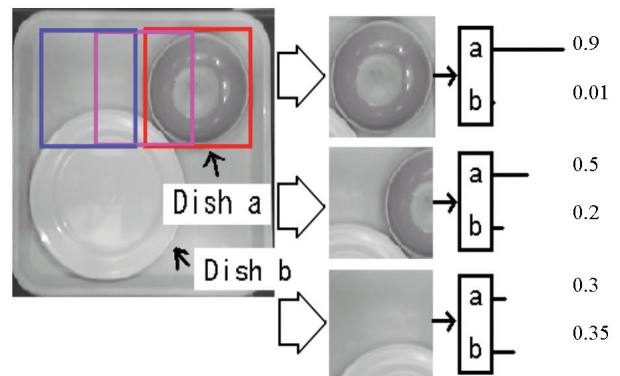


図7 NNの切り出し画像

一方、食器確定に NN を採用する理由はつぎのようである。つまり、撮像画像の全ての画素を画像処理により探索し、食器を確定する方法も考えられる<sup>(16)(18)</sup>。しかしながら、システムは2、3秒の人間が待てる範囲で計測結果を栄養士

に表示する必要がある。そこで著者らは演算時間を要する画像処理ではなく、部分切りだし画像を用いたNNによる食器確定法を採用している。

また、NNに入力する食器の半径、縦、横の長さ（画素数）は以下のようなアルゴリズムによって求められる。

- (a) 2値化のためのしきい値を設定する。しきい値より大きい小さいかで、“1”画素と“0”画素に分ける。
- (b) 8近傍収縮処理を実施し、2値化画像のノイズ除去を行なう。
- (c) “1”画素が集合している（8近傍に“1”画素がある）部分にそれぞれラベル番号を付ける。
- (d) ラベル領域のx軸、y軸のそれぞれ最大値、最小値を求める。
- (e) 求めた最大値、最小値から食器の縦、横の長さを求める。

### 3.3 食器から食材の抽出

提案システムにおいて、食材の計測を行なう場合の前処理として食器から食材を抽出する処理が必要となる。食材の抽出処理のアルゴリズム<sup>(17)(18)</sup>を以下に示す。

256色ビットマップファイルから食膳画像を取り出し、RGBの内、青色画像だけを取り出す。次に、しきい値を用いて画像を2値化する。

- (a) しきい値以上の画素を“1”画素とする。
- (b) しきい値より小さい画素を“0”画素とする。

ここで、“1”画素は食材の部分で“0”画素は他の背景部分になる。つぎに、画像内のノイズを除去するために8近傍収縮処理を行なう。収縮処理に関しては、収縮回数を1回から100回までの内から任意に決めることが可能であり、実験にて試行錯誤的に最適な収縮回数を4としている。8近傍収縮処理の後に以下のラベル処理を行なう。

- (a) “1”画素を探索する。
- (b) 探索した“1”画素に、現在のラベル番号を付ける。

- (c) 現在のラベル番号の8近傍に“1”画素があれば、その画素に同じラベル番号を設定する。その後、各々のラベル領域の中心位置を求める。最後に、求めたラベル領域ごとに、領域の位置の最大値、最小値を求める。

### 3.4 食材の摂取量の計測

#### 3.4.1 NNによる摂取量判定

ここでは、まず食器確定と同様なNNの構成で残食材の画像を判定し、それに対応するカロリーを算出する方法を検討する。そのアルゴリズムを以下に示す。

- (a) 典型的な食事摂取量をレベル分類（例えば、Level-1=0%, Level-2=20%, Level-3=40%, …, Level-6=100%）し、食材残量100%に対するカロリー  $A cal$  を算出する。
- (b) 食後の残食材を皿毎に抽出し、残食レベルを確定する。
- (c) 皿毎の摂取カロリー  $a$  は(2)式で算出する。

$$a cal = \{1 - (\text{確定レベルの}\%) / 100\} \times A cal \quad (2)$$

#### 3.4.2 面積による摂取量判定

上記でNNによる食材計測を検討したが、実務上多種多様な残食材画像には対応できないことが予想される。例えば、食材の回転に対しては、回転補正を抽出画像に施すか回転不変な情報（モーメント、面積など）<sup>(16)(18)</sup>に変換する必要があると考えられる。そこで著者らは、残食材の面積（画素）を計測する方法を本システムの計測サブシステムの主体とすることとした。そのアルゴリズムを以下に示す。

- (a) 食材残量100%に対するカロリー  $A cal$  と面積（画素）  $S$  を算出する。
- (b) 食後の残食材を皿毎に抽出する
- (c) 残食材の面積（画素）  $s$  を計算する。
- (d) 皿毎の摂取カロリー  $a$  は(3)式で算出する。

$$a cal = \{1 - s/S\} \times A cal \quad (3)$$

## 4. 実験

ここでは提案システムを用いた食器画像の確

定実験と食器からの食材抽出実験、さらに、摂取量計測実験を実施し、それぞれの性能を検討する。

#### 4.1 食器の確定実験

前章で述べた NN による食器確定法による食器確定実験を行う。食器の情報は、食器データベースシステムとのプロセス間通信により獲得する。図 8 に食器確定サブシステムのメニュー画面を示す。また、表 1 に NN の学習および評価条件を示す。

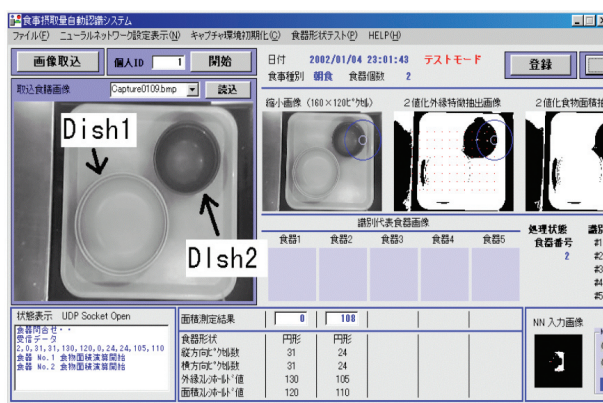


図 8 食器確定メニュー

表 1 NN お学習および評価条件

Number of Dishes Kinds	10
Number of Learning Data for a Pattern	5
Number of Test Data for a Pattern	20
Mean Squared Error	1.0E-4
Learning Method	Improved BP method

実験では 10 種類の食器を 59 通りに組み合わせた画像を使用し、食器確定実験を行った。トレイ状の食器画像の例を図 9 に示す。また、表 2 に NN に入力する食器情報の例を示す。

表 2 食器情報の例

Dish ID	1	2
Style	Circle	Circle
Width	31	24
Height	31	24

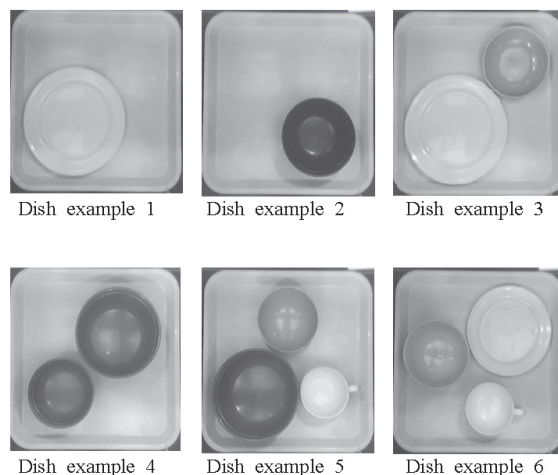


図 9 トレイ上の食器配置例

実験を行った結果 59 パターンすべての食器確定を行うことが可能であった。しかしながら、食器確定は成功しても正確な食器位置の特定を行うことができなかった。これは、切り出した部分画像に他の食器の一部が混入するのでこれが目標食器画像に対し、ノイズとして影響しているものと予想される。これに対しては、食材抽出時で使用した切り出し部分画像に対する数回の収縮処理を用いることによりノイズである小さな孤立領域を消去することが可能であると予想される。

図 10(a) に正確な位置で抽出できた例を、図 10(b) に正確な位置で抽出できなかった例を示す。

#### 4.2 食材の抽出実験

図 11(a) に 3 分割した魚の切り身に対して抽出処理を行った結果を示す。また、図 11(b) に流動食材に対する抽出処理結果を示す。このように、8 近傍収縮処理トラベリングによる残食材抽出アルゴリズムの有効性が確認できた。

#### 4.3 摂取量計測実験

ここでは、3 章で示した NN による摂取量計測と面積による摂取量計測の実験を行なう。ただし、ここでの NN による計測実験は面積による計測実験の比較として位置付ける。

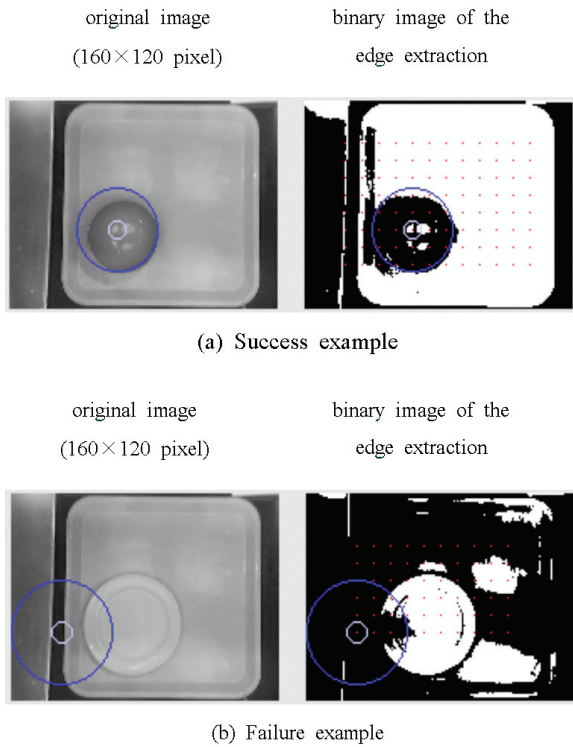


図 10 食器確定の例

#### 4.3.1 NN による摂取量判定

実験 1 では図 12(a) に示すように残量が 0%、20%、60%、100% の 4 レベルに分類したダミーとんかつ（発泡スチロールで製作し、ページュに着色）を使用する。この画像を使用した学習および識別実験を実施する。NN による計測部では入力画像の特徴量の抽出法として、入力画像全体をメッシュで格子状に区切り、縦、横、斜めの方向から走査し、メッシュ内の濃淡情報の合計値を画像の特徴量として NN に入力する。実験では、NN の学習画像をそれぞれのレベルで 5 個使用し、未学習の食材画像をそれぞれ 10 個使用した。未学習画像に配置ずれとわずかな回転ずれしたものを加えている。食材抽出アルゴリズムの特性上食材の位置ずれに NN の発火値は影響されないが、回転には NN の発火値が低下するなどの影響が見られた。ただし、一部発火値が 0.5 を下回る NN ユニットもあるが、全体の識別率は 100% であった。

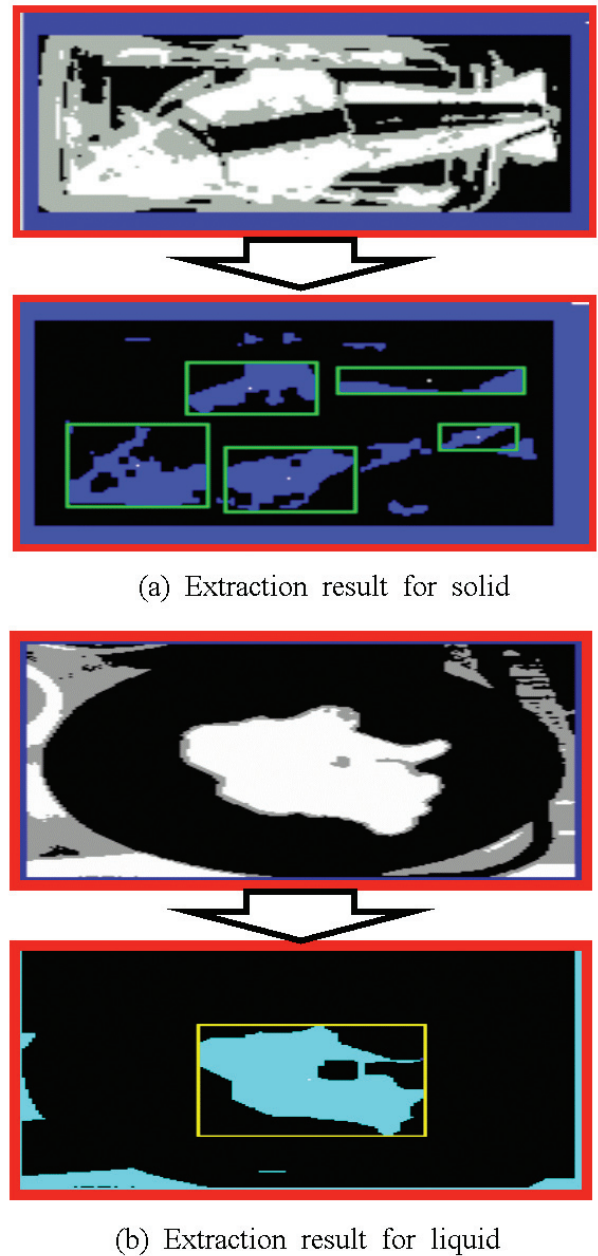


図 11 食材抽出結果

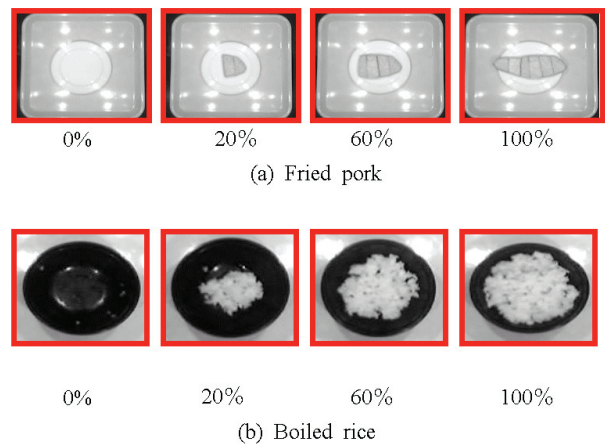


図 12 残食材のレベル分類の例

つぎに、実験2においては、図12(b)に示す4レベルに分類した実物の炊飯米を使用し実験を行った。実験2の実験結果は97.5%であった。ただし、炊飯米の評価においては回転ずれの影響よりはむしろ、炊飯米がない場合の食器底面反射光の影響が大きく、これが食材が無いにもかかわらず白い炊飯米と識別されていた。ただし、ここでの実験ではサブシステムは食物データベースとプログラマ的にリンクしていないので(2)式を用いたカロリー計算まで算出せず、残食材のレベル分類にとどめている。

#### 4.3.2 面積による摂取量判定

サブシステム単独として動作させた結果はNNによる残食材レベル分類とほぼ同等な性能(97%)が得られた。また、その結果は(4.3.1)の場合と同様に最終的な摂取カロリー計測ではなく、残食材の画素数としている。実験条件は(4.3.1)と同様とする。

ただし、これらの実験は限られたメニューでのサブシステムごとの単体動作であり、全てのサブシステムをリンクした統合テストは現在進行中であり、その報告は次回に譲るものとする。

## 5. おわりに

本論分では病院内の入院患者を対象とし、食事摂取量を計測するシステムの提案を行った。トレイ画像からの食器画像確定にNNを応用し、さらに、食材抽出に画像処理を応用してその有効性を定量的に示した。とくに、残食回収時の即時判定が必要であることからNNを利用した食器確定を提案し、その有効性を院内使用食器を用いて示した。

また、食事摂取量計測にNNを使用した場合のレベル分類性能を定量的に示した。食材画像識別実験においては4レベル分類画像全てにおいて97.5%以上と高い識別性能を示した。一方、食材抽出実験では、収縮回数、切り出し制約条件を調整することで、食器から食材を切り出すことが可能となった。しかしながらNNによる

計測では無限に分類される原料パターンに対する登録が問題となる。それゆえ、最終的には面積による摂取量計測を採用予定である。

## 文献

- [1] H.Uchida and F.Takeda; "Construction of Measurement System for Food Intake using Neural Network", ISCIE, pp.107-108, 2001.
- [2] F.Takeda, H.Uchida and S.Hattori; "Construction of Measuring System for Food Intake System", SPATJ, pp.75-80, 2001.
- [3] H.Uchida and F.Takeda, "Development of a Measurement System for Food Intake using Neural Network", ICMIT'01, pp.19-24, 2001.
- [4] F.Takeda and S.Omatu; "Bank note recognition system using neural network with random masks", World Congress on Neural Networks, Portland, USA, Vol.1, pp.241-244, 1993.
- [5] F.Takeda and S.Omatu; "Recognition System of US Dollars Using a Neural Network with Random Masks", International Joint Conference Neural Networks, Nagoya, Japan, Vol.2, pp.2033-2036, 1993.
- [6] F.Takeda, S.Omatu, S.Onami, T.Kadono, and K.Terada; "A Paper Currency Recognition Method by a Small Size Neural Network with Optimized Masks by GA", IEEE World Congress on Computational Intelligence, Orlando, USA, Vol.7, pp.4243-4246, 1994.
- [7] F.Takeda and S.Omatu; "A Neuro-Money Recognition Using Optimized Masks by GA", Advances in Fuzzy Logic, Neural Networks and Genetic Algorithms LNAI 1011 Springer pp.190-201, 1995.
- [8] F.Takeda and S.Omatu; "High Speed Paper Currency Recognition by Neural Networks", IEEE Transaction on Neural Networks, Vol.6, No.1, pp.73-77, 1995.



- [9] F.Takeda and S.Omatu; "A Neuro-System Technology for Bank Note Recognition", Japan/USA symposium on Flexible Automation, Boston, USA, Vol.2, p.1511-1516, 1996.
- [10] F.Takeda and S.Omatu; "A Currency Using Optimized Masks by GA and Its Hardware", International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis, Orlando, USA, pp.147-152, 1996.
- [11] F.Takeda, S.Omatu and T.Nishikage; "Neural Network Recognition System Tuned by GA and Design of Its Hardware by DSP", International Symposium on Artificial Intelligence in Real-Time Control, Malaysia, pp.356-361, 1997.
- [12] F.Takeda and S.Omatu; "Neural Network Systems Technique and Applications in Paper Currency Recognition", Neural Network Systems, Techniques and Applications ACADEMIC Press Vol.5, Chapter 4, pp.133-160, 1998.
- [13] F.Takeda, S.Omatu and Y.Matsumoto; "Development of High Speed Neuro-recognition Board and Application for Paper Currency", The international Workshop on Signal Processing Application and Technology, pp.49-56,1998.
- [14] F.Takeda, Nishikage and Y.Matsumoto; "Characteristic Extraction of Paper Currency using Symmetrical Masks Optimized by GA and Neuro-Recognition of Multi-National Paper Currency", IEEE World Congress on Computational Intelligence, Alaska, USA, Vol.1, pp.634-639, 1998.
- [15] T.Nishikage and F.Takeda; "Axis-Symmetrical Masks Optimized by GA for Neuro-Currency Recognition and their Statistical Analysis", World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics, and Informatics, Orlando, USA, Vol.2, pp.308-314, 1998.
- [16] R.Suenatsu and H.Yamada, Image Processing Engineering, Corona Publishing, pp.120-140, 2000.
- [17] N.Funakubo, Pattern Recognition, Kyoritsu Publishing, pp.154-157, 1993.
- [18] T.Agui and T.Nagao, A Guide to Image Processing by C Language, Syokodo Publishing, pp.47-74, 2000.