

# 室内温熱指標が酸化スズ系ガスセンサに与える影響とその出力予測

正員 中本 義徳 (金沢経済大学)

正員 大藪 多可志 (金沢経済大学)

非会員 木村 春彦 (金沢大学)

**Influence of indoor thermal indexes to a tin oxide gas sensor output and prediction of its output**  
Yoshinori Nakamoto, Takashi Oyabu, Members (Kanazawa University of Economics), Haruhiko Kimura, Non-member (Kanazawa University)

There are various researches on a tin oxide gas sensor. It is effective to adopt the various information in an indoor environment. The information is derived from the sensor output characteristics. And, it is also understood that the sensor output is influenced by the indoor climate. The purpose of this research is to clarify the influence of the temperature, humidity and the atmospheric pressure to the gas sensor output. However, the fluctuation of the base level of the sensor output every day is considerably large. So, it is difficult to introduce directly some information from the sensor level. It is attempted to characterize the variance by smoothing the sensor output using the moving average method. As for results, a strong correlation coefficient presents between the sensor output and the atmospheric pressure. This result can be applied to predict a sensor output. The sensor output is derived roughly using an approximate equation, which is introduced by the trigonometric function. The predicted value, however, does not have good accuracy in summer and winter. A theory of Markov source is used to predict an accurate gas sensor output still more. The Markov prediction value is good at an actual sensor output in summer. Both methods are very effective to predict an indoor thermal indexes using tin oxide gas sensor.

キーワード：酸化スズ系ガスセンサ，居住環境，温熱指標，移動平均法，マルコフ情報源

## 1. はじめに

酸化スズ系ガスセンサはガス漏れ警報器に組み込まれ広く一般家庭に普及している。当該センサはガスを検知する機能を有していることから、居住環境の様々な情報を収集することができる。例えば、都市ガスやプロパンガスなどのガス漏れ、燻焼火災、一酸化炭素ガスの発生など、家庭内災害を誘発する要因の検知に利用されている。また、室内空気の汚染状態を把握する研究<sup>(1)</sup>や、室内空間における人間の活動に伴う振る舞いを認知する研究<sup>(2)(3)</sup>にも利用されている。このようにガスセンサから得られる情報を基に、様々な認知が行える可能性がある。

酸化スズ系ガスセンサは還元性ガスの吸着や触媒表面の酸化反応などによって電気伝導度に変化する。このため、当該センサに影響を与える要因として温度と湿度が挙げられ、その基本的な応答についての研究も行われてきた<sup>(4)</sup>。一方、気圧も同様に大きな影響を与えられるが、室内環境におけるこの種の研究はこれまでほとんど報告され

ておらず、その影響を明確にする必要がある。そこで、本研究では、まず、季節変動を考慮して長期間（2年間）のガスセンサ出力と気温、湿度、気圧との相関関係を明確にするとともに、これらの情報からガスセンサの出力を予測することを目的としている。この一連の研究の目標は、ガスセンサ出力情報から室内外の快適指標を導出することにある。これらの情報を詳細に把握することにより、高齢化により鈍化しがちな人間の温熱感覚の補助や代行に役立つものと考えられる。

## 2. ガスセンサ出力と温度・湿度・気圧との関係

室内環境において、酸化スズ系ガスセンサ出力が如何に温度、湿度、気圧の影響を受けるかを調べた。この研究は将来、快適環境創出のための研究へ発展させることを念頭に置いている。まず、測定データを基に各パラメータの影響度を導出した。

**2.1 実験概要** 実験に用いたシステムは、可燃性ガ

スセンサである酸化スズ系ガスセンサ (CGS : Combustible Gas Sensor, TGS#800) と負荷抵抗器を直列で接続し、それに 5 V の直流電圧を印加したものであり、この負荷抵抗器の両端の電圧を CGS 出力として取り出す。

本システムは北陸地方 (金沢市) の一般的な住宅に設置し、1996 年 4 月 1 日から 1998 年 3 月 31 日までの 2 年間実験を行った。この地方では、夏季は高温多湿、冬季は低温多湿であることから、気温から季節の変化を明確に捉えることができる。しかし、湿度に関しては梅雨期が長く、春季と秋季の一時期を除いてほぼ一年を通して 60% 以上になり、高い傾向にあるといえる。

CGS 出力と室温、湿度の測定は毎朝起床時に行った。これは、CGS 出力の一日の変化が日中は高く、夜間の就寝により次第に減少し、起床時に最小値となることによる。つまり、日中は人間の活動によって様々なガスが発生し、CGS 出力は高い値を示す。夜間にそのガスが外部空気の漏入等により自然浄化される。これにより、一日の中で起床時が人間の活動の影響を受けない最も清浄な時点であり、CGS 出力は最小値を示す。この出力値をオフセットレベルと呼ぶ。なお、気圧は気象庁発表のデータを利用した。

**2.2 測定結果の比較** 測定システムによって計測された 2 年間の推移を図 1 に表す。(a)図は CGS 出力、(b)図は室温、(c)図は湿度、(d)図は気圧である。(a)図より CGS 出力は約 1.5V から 2.6V 程度の範囲内で、夏季に高く冬季に低い値を示しながら周期的に変動していることが分かる。しかし、全体の変動幅約 1.1V に対して日々の変動幅がかなり大きい。最大で 6 割に相当する 0.66V 変動した日もあり分散がかなり大きい。(b)図より、室温は約 3°C から 30°C までの範囲内で周期的に変動している。この図に表された室温の推移は CGS 出力とは対照的に分散は小さく、5 月および 11 月から 12 月あたりに幾分か大きくなる程度である。

(c)図の相対湿度は最低 57%、最高 92% の範囲内で推移しているが、既述したようにこの地方の湿度は全般的に高く (平均約 73%)、春季と秋季において一時的に低い時期が見られる程度である。また、日々の変動幅もかなり大きく、19 ポイント変動した日もあり分散が大きい。(d)図の気圧は全般的にかなり変動しながら推移しているが、概ね冬季に高く、夏季に低い値を示している。これにより、冬季は西高東低の気圧配置で高い位置に当たり、夏季は南高北低の気圧配置で低い位置にあることが分かる。

CGS 出力と各パラメータとの相関係数を表 1 に示す。起床時の CGS 出力は室温と正の相関関係にあり、また、気圧とは負の相関関係にある。それぞれある程度の相関があることを示している。しかし、湿度との相関はほとんど認められない。これら 4 要素は日々の変動幅がかなり大きく、また、わずかな環境の変化によっても値が変動する特徴を有する。したがって、1 日のうちのある時点の測定値を使って相関関係を全て把握することには無理もある。

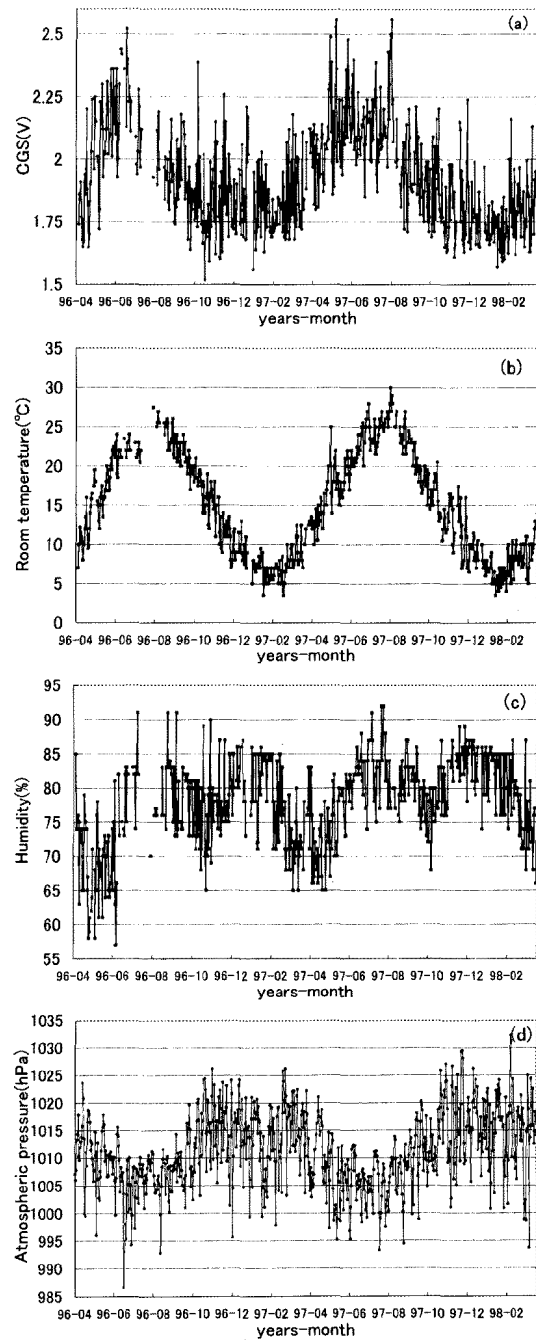


図 1 CGS 出力、室温、湿度、気圧の測定結果  
Fig.1. Measurement results of CGS output, room temperature, humidity and atmospheric pressure.

表 1 CGS 出力と各パラメータの相関係数  
Table 1. Correlation coefficients of measurement data and CGS output.

CGS : 室温	0.6495
CGS : 湿度	-0.0835
CGS : 気圧	-0.6005

**2.3 測定結果の移動平均処理** 前述したように CGS 出力の変動幅がかなり大きいことから、移動平均法を用いて平滑化し出力の平年的特徴を求めてみた。また、その特性の時間的差異を調べることにより相関度を求めた。短期間での移動平均処理では平滑化が十分でなく、結果として約4週間（実際には29日）での移動平均を求めた。室温、湿度、気圧も CGS 出力と整合をとるため同じ期間で移動平均を求めた。その結果を図2に示す。全体の変動幅は若干狭くなったが、平滑化されたことにより変動の特徴が明確になった。いずれも季節の変化による周期的な変動が顕著に現れている。

また、原データと移動平均結果との誤差平均、標準偏差を表2に示す。湿度に関する値が幾分大きい。CGS 出力、室温、気圧についてはそれぞれ小さい値であり、いずれも移動平均による平滑化が妥当であることがわかる。

**2.4 移動平均結果の比較** まず、移動平均したデータに基づいて CGS 出力と各要素との関係を明確にするため、表3にそれらの相関係数を示す。表1のデータと比べると明らかに相関度が大きくなっている。特に CGS 出力と室温及び CGS 出力と気圧の相関係数は大きい。このことは、日々のデータはわずかな環境の変化によって大きく変動し、個々に関連を表現することは難しいが、時間的な推移で特性を把握すると相関度は強くなることを意味する。この結果より CGS 出力は室温と気圧の影響を強く受けていることがわかる。なお、CGS はガスを検知する機構上、気圧の影響を受けることは明らかである。

移動平均データをグラフ化することでその特徴を対比した結果を図3に示す。これは CGS 出力と室温を比較したものである。両者は相関係数の値からも明らかなようにその形状が酷似しており、周期のサイクルも同じであることが分かる。しかし、特性についてみると、CGS 出力は夏季から秋季にかけて減少しているが、冬季は減少せずほぼ一定に推移している。逆に、春季から夏季にかけては CGS 出力が増大しているが、夏季においては増大せずほぼ同程度の出力で推移している。

その他の特徴として、周期的な変動に時間的な差異が認められる。すなわち、増減の傾向が室温よりも CGS 出力の方が早く現れている。

CGS 出力の移動平均データを室温データ側に1日ずつシフトし相関係数を求めた。その結果を図4に示す。当初の相関係数が0.7497であるのに対し、37日間シフト時で最高の0.8983が得られている。このことから元のデータである CGS 出力と室温の移動平均データは同じ形状であることが分かる。すなわち見かけ上、位相が37日間ずれているように見える。

同様に、CGS 出力と湿度、CGS 出力と気圧についても調べた。結果は同様に図4に示してある。さらに、シフトした結果得られた最大の相関係数とその日数を表4に示すとともに、最大の相関係数をとるようシフトした CGS 出力と

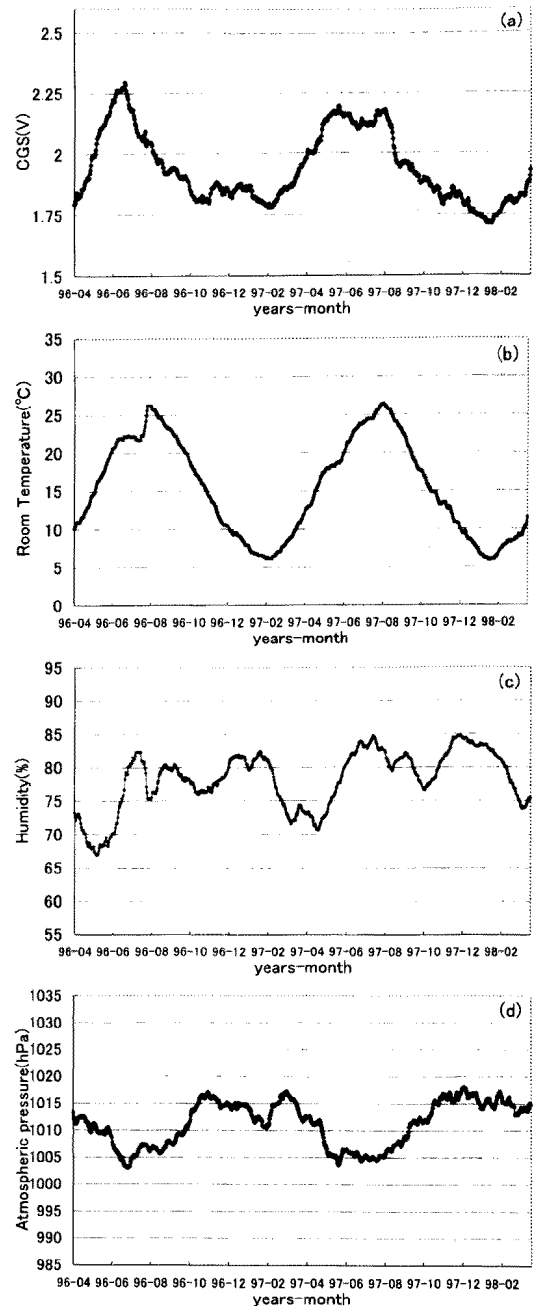


図2 CGS 出力、室温、湿度、気圧の移動平均結果  
Fig.2. Moving average results of CGS output, room temperature, humidity and atmospheric pressure.

表2 原データと移動平均結果との誤差平均および標準偏差

Table 2. Average and standard deviation of difference between the original data and moving average data.

	誤差平均	標準偏差
CGS	0.000252	0.136606
室温	0.008883	1.754372
湿度	-0.01495	4.19644
気圧	0.003126	5.61037

表3 移動平均データの相関係数

Table 3. Correlation coefficients of moving average data.

CGS : 室温	0.7497
CGS : 湿度	-0.2317
CGS : 気圧	-0.8526

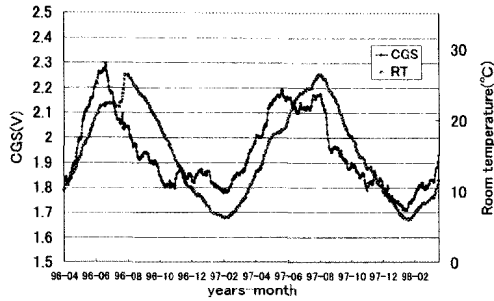


図3 CGS出力と室温の移動平均結果の特徴比較  
Fig.3. Comparison of moving average characteristics between CGS output and room temperature.

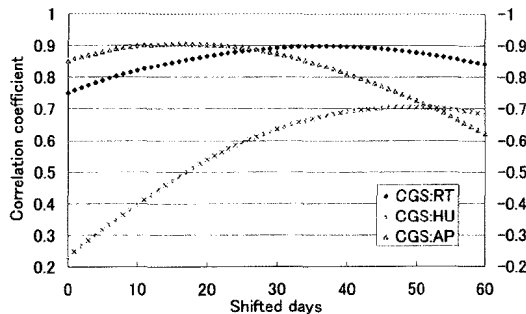


図4 シフトした日数毎の相関係数  
Fig.4. Correlation coefficients as a function of the shifted days.

表4 シフトによる最大相関係数と日数

Table 4. Maximum correlation coefficient of shifted data.

CGS : 室温	37 days	0.8983
CGS : 湿度	48 days	-0.7049
CGS : 気圧	16 days	-0.9047

各データを示したグラフを図5に示す。(a)図はCGS出力と室温、(b)図はCGS出力と湿度、(c)図はCGS出力と気圧の関係を示した図である。

CGS出力と湿度についてみると、原データでは相関係数が-0.0835というように全く相関のない関係と見られていたが、移動平均処理データを48日間シフトしたところ、相関係数が-0.7049となり、十分に相関がある結果となった。本来ガスセンサは湿度が50%以下でその影響を強く受けることが知られている。しかし、北陸地方のように1

年を通してほぼ60%を超えるような高湿度の環境では、ガスセンサへの影響はほとんどないものと考えられた。今回のこの結果により、高湿度の環境にあっても湿度の影響を受けているといえる。

CGS出力と気圧の特性から、原データでは室温よりも相関係数は低かったが、移動平均処理データでは最も相関係数が高く、また、シフトした日数も最も短かった。つまりガスセンサへの影響は気圧が最も大きいということになる。特に、図3で示したCGS出力と室温の差異が冬季と夏季に現れているのは、図5から気圧の影響が大きいといえる。

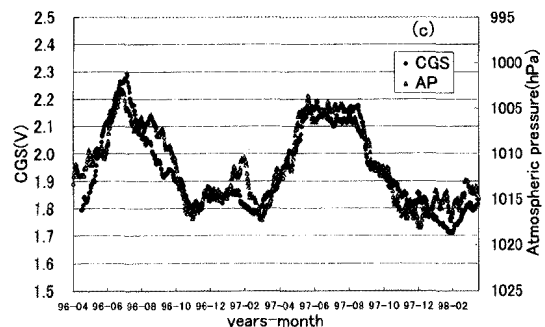
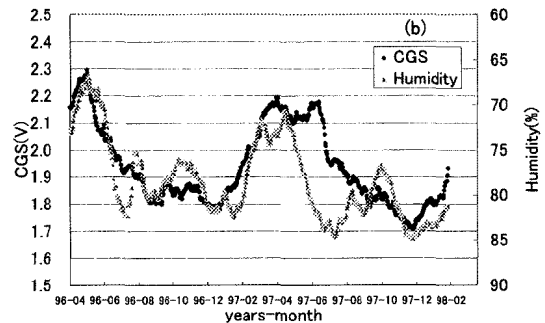
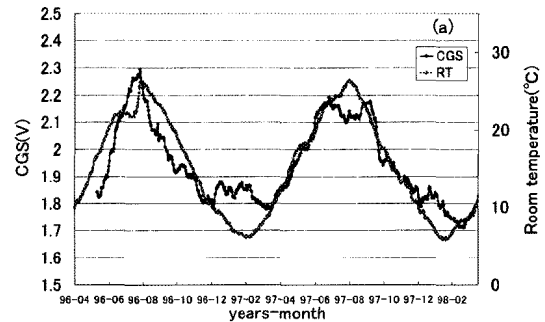


図5 シフトによる最大相関係数時点でのCGS出力と室温、湿度、気圧との比較

Fig.5. Comparison of moving average characteristics between CGS output, room temperature, humidity and atmospheric pressure which is shifted to maximum correlation coefficient.

### 3. ガスセンサの出力予測

**3.1 三角関数によるガスセンサ出力近似** 前章において移動平均処理により、CGS 出力と室温、湿度、気圧との関係が明らかとなった。しかし、実際の適用においては、より少ない計測情報で正確に出力値を表現できることが望ましい。そこで、測定データに対する近似式を求めた。CGS 出力は周期的に変動することから三角関数を利用し回帰曲線を求めた。それを(1)式に示す。

$$y = 0.192 \times \sin((-87.278 + x) \div 365 \times 2 \times \pi) + 1.941 \quad (1)$$

ここで、 $x$  は元旦からの日数であり、 $1 \sim 365$  の値をとる。また、 $y$  は  $x$  によって求められる CGS 出力である。

CGS 出力の測定結果と(1)式により求めた予測値との対比を図 6 に示す。両者の差異は、平均 0.0、標準偏差 0.152 であり、(1)式の妥当性が分かる。

しかし、(1)式との差が著しく大きくなる場合もある。具体的には夏季にその傾向が顕著に見られる。しかしながら、夏季と冬季などの温熱環境が高齢者にとって厳しい状況に向かうことを的確に予測することは意義があり、(1)式で示した回帰曲線などにより、平面的な変動を把握しておくことは重要なことである。

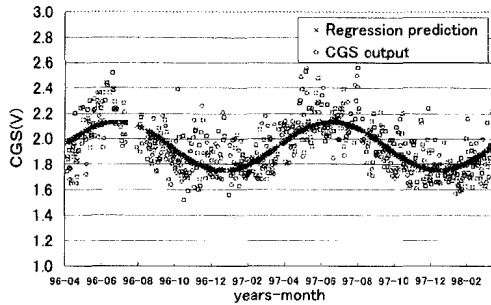


図 6 CGS 出力の測定結果と回帰予測との対比  
Fig.6. Comparison of CGS output with approximate function.

**3.2 マルコフ情報源の適用** 実験で測定した CGS 出力は連続的に発生するデータの中から、起床時の値のみを抽出している。CGS 出力はそれぞれ独立したものではなく、前日の出力の影響を受けている。マルコフ情報源は確率論から発展したものであり、こうした連続するデータの動きを把握するのに適している。そこで、1重(単純)マルコフ情報源を適用して夏季と冬季のより精確な CGS 出力を予測することを試みた。

単純マルコフ情報源の適用において CGS 出力の変動幅を状態と見なす。CGS 出力変動の特に大きな差異を単純マルコフ情報源の中にも的確に組み込むためには、状態の分類をより詳細にする必要がある。一般的によく利用されている式 ( $1+3.3 \log n$ ) を適用し、10 に分類することとした。ここで  $n$  はデータ件数を表す。ただし、両端に属するデータがかなり少ないことから表 5 に示すクラス属性とした。次に、CGS 出力の前日からの変動幅が、例えば、(a)

の状態に分類されたデータが、その翌日との変動幅によってどの状態に推移するかを確率として算出する。これをすべての状態について求める。一般的には、状態  $X_n$  の推移確率を

$$p_{ij} = P\{X_n = j | X_{n-1} = i\}, \quad 1 \leq i, j \leq N$$

とおき、 $p_{ij}$  を行列表記したものを推移確率行列と呼ぶ<sup>(5)</sup>。このようにして求めた状態推移確率行列  $P$  を(2)式に示す。

行列  $P$  の特徴としては、増加量の大きい状態は減少量の大きい状態へ推移するが、それ以外の状態は変化量の少ない状態へ推移する確率が高い。このことから、CGS 出力の変動の傾向を次のように捉えられる。すなわち、CGS 出力は測定した 2 年間に 2 サイクルで周期的に変動しており、変動の平均は 0 である。大きく増加した翌日は大きく減少することで平均の状態に戻る傾向にある。また、大きく減少した場合には徐々に増加することで平均に戻る傾向を示す。理由としては、一般にガスセンサ出力が高くなるということは、気温の上昇やガス濃度の上昇などによって起きる現象であり、居住環境の点では悪化要因とみなせる。したがって居住者は直ちに対策を採る必要がある。これに対して、ガスセンサ出力の低下は空気質のクリーンな状態への変遷を意味し、居住者は特別な対策を講じる必要がないものと思われる。

表 5 CGS 出力の状態クラス分類

Table 5. Classification of difference from the day before on CGS output.

Class	Range
(a)	difference $\geq 0.4$
(b)	$0.4 > \text{difference} \geq 0.3$
(c)	$0.3 > \text{difference} \geq 0.2$
(d)	$0.2 > \text{difference} \geq 0.1$
(e)	$0.1 > \text{difference} \geq 0.0$
(f)	$0.0 > \text{difference} \geq -0.1$
(g)	$-0.1 > \text{difference} \geq -0.2$
(h)	$-0.2 > \text{difference} \geq -0.3$
(i)	$-0.3 > \text{difference} \geq -0.4$
(j)	$-0.4 > \text{difference}$

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.091 & 0 & 0.181 & 0.091 & 0 & 0.273 & 0.273 & 0.091 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.067 & 0.200 & 0.133 & 0.466 & 0.067 & 0.067 \\ 0 & 0 & 0.018 & 0.073 & 0.109 & 0.309 & 0.182 & 0.200 & 0.091 & 0.018 \\ 0.012 & 0.012 & 0.083 & 0.107 & 0.191 & 0.143 & 0.238 & 0.119 & 0.071 & 0.024 \\ 0.015 & 0.015 & 0.076 & 0.168 & 0.244 & 0.275 & 0.168 & 0.023 & 0.008 & 0.008 \\ 0.014 & 0.028 & 0.142 & 0.156 & 0.277 & 0.206 & 0.106 & 0.064 & 0.007 & 0 \\ 0.014 & 0.028 & 0.085 & 0.183 & 0.254 & 0.366 & 0.042 & 0.014 & 0.014 & 0 \\ 0.064 & 0.043 & 0.191 & 0.277 & 0.234 & 0.106 & 0.064 & 0.021 & 0 & 0 \\ 0 & 0.056 & 0.166 & 0.111 & 0.278 & 0.333 & 0.056 & 0 & 0 & 0 \\ 0.167 & 0.167 & 0 & 0 & 0.333 & 0.333 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

推移確率行列  $P$  を基に CGS 出力の予測を試みた。結果を図 7 に示す。また、実測値との誤差の平均は -0.04、標準偏差は 0.164 となった。これは(1)式による予測よりも標準偏差が大きい。原因としては、CGS 出力の日々の変動

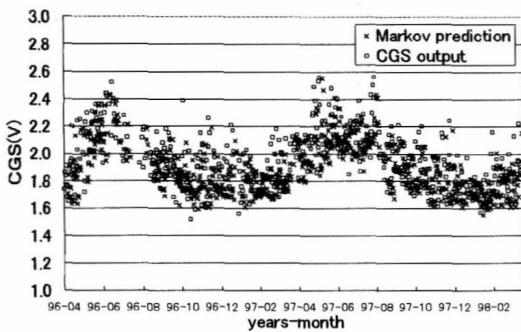


図7 CGS出力の測定結果とマルコフ情報源による予測との対比

Fig.7. Comparison of CGS output with Markov prediction.

が大きいかにも関わらず、これを状態推移確率として使用したためと思われる。ただし、夏季に限定して予測の誤差を求めたところ、(1)式の予測の標準偏差は0.172であるのに対し、単純マルコフ情報源による予測の標準偏差は0.135であった。すなわち、この単純マルコフ情報源を利用した予測手法は季節を限定すれば回帰式よりも精度が高い。したがって、これらを組み合わせることにより、一層の精度向上を計れることになる。

#### 4. 評価

ガスセンサ出力は前日の人間の活動によって発生するガスが夜間のうちに清浄化されて起床時をオフセットレベルと捉えているが、実際にはすべてのケースで完全に清浄化しているわけではない。したがって、毎日の計測値に前日の残留成分による誤差が多分に含まれており、これにより日々の変動幅が大きく現れる可能性がある。CGS出力のオフセットレベルでの変動を把握するには、今回のように移動平均法で処理し平滑化することにより可能となる。

結果としてCGS出力は室温、湿度、気圧の影響を受けることが分かった。これらの特性は移動平均処理シフトすることにより相関係数が最大となる。そのシフトの日数は移動平均処理したパラメータ間での相関係数に対応し、図5に表すようにCGS出力と気圧が最も大きな値を示す。続いてCGS出力と気温、CGS出力と湿度の順であった。

このように、CGS出力と室温、湿度、気圧との間に良い相関を表現することができたが、本論文でのデータ処理方法はこのための便宜的な手法といえる。

#### 5. おわりに

CGS出力と室温、湿度、気圧との関係を明確にすることは、相互のデータを予測する重要な要因を明確化することになる。すなわち、室温や湿度、気圧のデータが得られれば、これを元にCGS出力を予測することが可能である。また、逆も可能性が大きい。本論文では、北陸地方のある住宅でのCGS出力と室温、湿度、気圧との関係を2年間実測することにより明らかにした。このデータは1サン

ルではあるが、予測の可能性を示した意義あるものである。また、過去のCGS出力値から将来のCGS出力値を予測する手法として、三角関数による近似と単純マルコフ情報源を用いた方法を提案した。これらの方法を組み合わせることにより、より正確にCGS出力を予測することが可能である。また、このCGS出力から室内の温熱環境を逆に予測し、快適度を推定することも可能となるであろう。これらについては今後の課題とする。

(平成12年02月24日受付, 平成12年08月30日再受付)

#### 文 献

- (1) Takashi Oyabu, Hidetaka Nambo, Shigeki Hirobayashi, Haruhiko Kimura: "IDENTIFICATION ALGORITHM FOR VARIOUS KINDS OF INDOOR-AIR POLLUTANTS USING GAS SENSOR PATTERNS", The 3rd International Meeting of Pacific Rim Ceramic Societies, No.08-O-3 (Sep. 20-23, 1998, Kyongju, Korea)
- (2) 広林茂樹, 木村春彦, 南保英孝, 坂森智, 大藪多可志: "マルチガスセンサとプロダクションシステムを用いた室内空気汚染ガスの検知システム", 計測自動制御学会論文誌, Vol.34, No.8, pp.913-921, 1998
- (3) 大藪多可志, 広林茂樹, 木村春彦: "複数の酸化スズ系ガスセンサによる独居老人世帯モニタリング", 電気学会論文誌, Vol.117-E, No.6, pp.314-320, 1997
- (4) 広林茂樹, 坂森智, 木村春彦, 大藪多可志: "温度・湿度変化に対する酸化スズ系ガスセンサ応答のモデル化", 電気学会論文誌, Vol.118-E, No.5, pp.260-265, 1998
- (5) 森村英典, 高橋幸雄: "マルコフ解析", 日科技連出版社, 1979

**中本 義徳** (正員) 1958年5月29日生まれ。82年富山大学経済学部経済学科卒業。88年金沢経済大学経済学部講師を経て、現在、同助教授。ガスセンサを用いた居住環境システムに関する研究に従事。情報処理学会、日本ファジィ学会、日本経営工学会、経営情報学会各会員。



**大藪 多可志** (正員) 1973年工学院大学工学研究科修士課程終了。75年早稲田大学第二文学部英文科卒業。金沢女子短期大学教授、富山国際大学人文学部教授などを経て98年金沢経済大学経済学部教授。ガスセンサシステムに関する研究に従事(工学博士)。電子情報通信学会、計測自動制御学会、電気化学会各会員。



**木村 春彦** (非会員) 1979年東北大学工学研究科博士課程修了。同年富士通(株)勤務。80年金沢女子短期大学講師。84年金沢大学経済学部助教授を経て、現在、同大学工学部電気情報工学科教授。最適コード変換、プロダクションシステムの高速度の研究に従事(工学博士)。情報処理学会、電子情報通信学会各会員。

