



鼻を使わず匂いを嗅ぐ

森泉・中本研究室～電気電子工学科



左から 森泉 豊栄 教授、中本 高道 助教授

嗅覚は五感の一つだが、私たちは匂いをどれだけ意識しているだろう。匂いを嗅ぐ機会は多いだろうが、それはいい香りや、嫌な匂いなど、曖昧な判断で片付いていることがほとんどではなからうか。しかし、気をつけてみると身の回りにはたくさん匂いがあり、匂いの客観的評価が必要とされる分野も多い。食料品や香料などの品質管理、製品開発では鼻の利く専門家がいるし、犬の優れた嗅覚は広い分野で役に立っている。

ここ森泉・中本研究室では、人や犬の鼻に代わるものをめざし、匂いセンサを研究している。



匂いを嗅ごう！

匂いセンサとはその名の通り、匂いを検出するための装置である。名前を聞いてどんなものを想像するだろうか。匂いと聞くと生体的な何かを思い浮かべるかもしれない。しかし実物は何の変哲もない電子部品である。そんな電子的なものが、どうやって匂いを検出するのだろうか。匂いセンサの仕組みを見てみよう。

そもそも、人間などの動物はどうやって匂いを感知しているのだろうか。実は匂いの元になるのはある種の気体である。この気体分子が鼻の嗅覚細胞というところに吸着することで、動物は匂いを感知しているのだ。匂いセンサでもこれと同じようなことが行われている。

匂いを検出するセンサ素子にはいくつか種類があるが、森泉・中本研究室では特に水晶振動子ガスセンサというものに注目している。図1にこれの仕組みを簡単に示そう。水晶の結晶には電圧を加えるとその電圧を振動させる性質がある。そこで、これに電極（主に銀）をつけて、発振回路につなぐと一定の周波数を持った電圧を作ることができる。図1にあるように、水晶の表面には脂質等から成る感応膜というものが塗ってある。この

感応膜に匂いのある気体分子が吸着すると感応膜が水晶に影響を及ぼし、周波数が減少する。この周波数変化を感じ取ることで匂いがあると判断するのだ。ところで、匂いのない気体分子が感応膜に吸着しても周波数が変化するのはないかと心配するかもしれない。確かにある程度、周波数は変化する。しかし、匂いのある気体に比べ匂いのない気体は周波数の変化が小さいので問題はない。このように、水晶振動子ガスセンサは匂いがあることを周波数の変化に置き換えて、匂いを検出する。

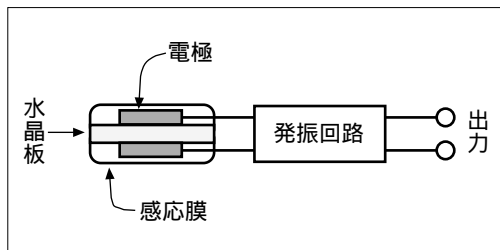


図1 水晶振動子ガスセンサ



性能が良くないと.....

匂いセンサを実際に使うためにはその性能が重要になる。センサの性能とは、大きく感度と選択性の二つである。

感度とは文字通り、どれだけ敏感に反応するかということである。同じ匂いでも感応膜の種類によって周波数の変化つまり反応の仕方が変わってしまう。そこで、目標の匂いがよく吸着する感応膜を選ぶことで感度を上げることができる。

次に選択性とは、異なる二つの匂いをどれだけよく見分けられるかということである。実は匂いセンサは選択性があまりよくない。匂いセンサはどんな匂いにも、ある程度反応してしまうのだ。したがって、特定の匂いだけをよく検出するセンサを作るのは難しい。では、どうすれば選択性を向上させることができるだろうか。

ヒントは人間にある。人の嗅細胞も匂いセンサと同じようにあまり選択性がよくない。しかし、私たちは匂いを嗅ぎ分けることができている。これはどうしてなのだろう。人の場合は、多数の嗅細胞からの情報を総合的に判断して匂いを嗅ぎ分けているのだ。このような処理はパターン認識と呼ばれる。匂いセンサはこれをまねている。すなわち、違う種類の感応膜を使ったセンサを複数個

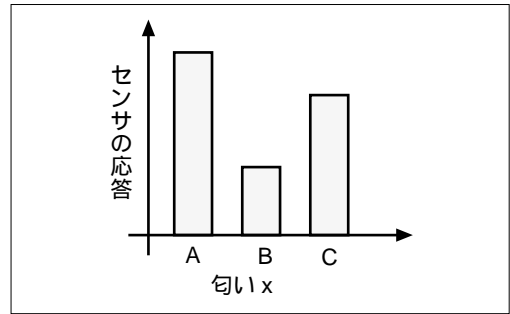


図3 匂いxのセンサの応答

使って、出た応答をパターン認識するのだ。具体例を考えよう。今、匂いセンサA・B・Cを用意する。これらにはそれぞれ違う感応膜を使用する。匂いア・イ・ウが、匂いセンサA・B・Cに図2のように応答するとする。ここで、匂いア・イ・ウのどれかである匂いxをセンサA・B・Cにかけると図3のように反応したとする。これを判別するには、図3に一番近いグラフを図2のグラフから選べばいい。この場合、匂いxは匂いアであると判断されるわけだ。このようにして、匂いセンサは複数のセンサからの情報を元に匂いを識別することで、選択性を向上させている。

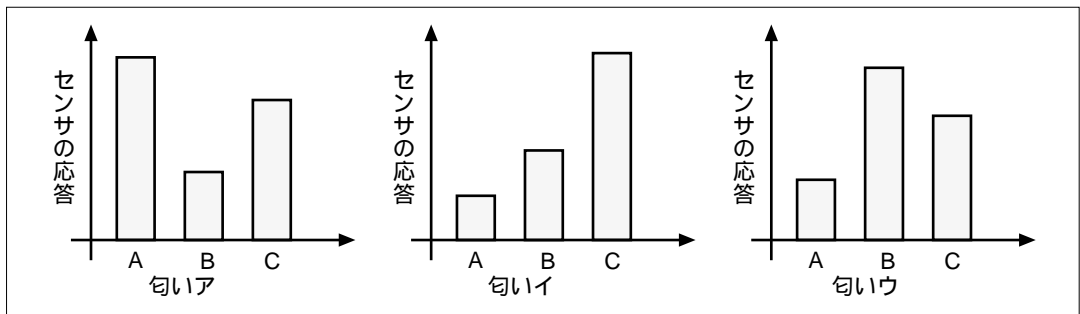


図2 各匂いに対するセンサの応答



どうやって見分けるの？

実際のパターン認識方法について、詳しく見てみよう。これには多変量解析と呼ばれる方法と、ニューラルネットワークによる方法が用いられている。

多変量解析とは、匂いセンサの場合では複数のセンサからの応答を元に匂いを特定することである。今、センサをセンサAとセンサBの2個とすると図4のようになる。センサAとセンサBで、

匂いAと匂いIを判別するとして。まず、準備として匂いAと匂いIに対するセンサの応答をいくつかとっておく。図4を見て不思議に思うかもしれないが、同じ匂いでも誤差のために、測定ごとに多少のばらつきができてしまう。そのため、図4のように同じ匂いでも広がりができる。ではこれを使ってどうやって未知の匂いを判別するか見てみよう。まず未知の匂いと、匂いAとIそれぞれの領域の重心からの距離 d_1 と d_2 を求める。そして、距離の小さい方の匂いすなわち、匂いIに属すると判断されるのだ。

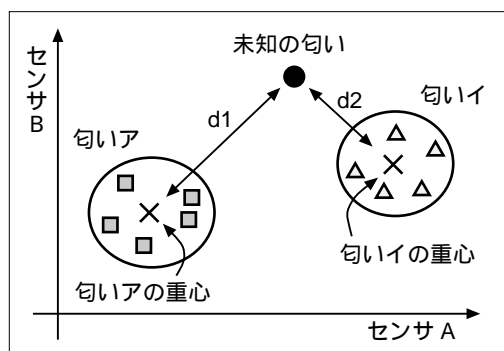


図4 n=2の多変量解析

それでは次に、ニューラルネットワークを用いたパターン認識を説明する。そもそも、ニューラルネットワークとは脳の神経回路網をモデル化したもので、ニューロンと呼ばれる素子が多数結合した回路である。図5のニューロンとニューロンを結ぶ矢印はつながりの向きを表している。つながりには強さがあり、強いつながり、弱いつながりなどがある。

ではこのような回路がどうやってパターン認識をおこなうのだろうか。ニューラルネットワークのパターン認識には、脳と同様、学習が必要になる。この場合では、図2の結果をニューラルネットワークにあらかじめ学習させなくてはいけない。例えば図5でニューラルネットワークはセンサからの応答が匂いAであると判断している。これを例に、どうやって学習がなされるか説明しよう。最初ニューラルネットワークは、匂いAであるはずの図5のようなセンサの応答を受けてもその匂いが匂いAであるとは判断してくれない。そこで、ニューラルネットワークに、この匂いが匂いAであると教えていく。教えることによって、ニューラルネットワークの出す結果が匂いAになるように、図5の矢印で表されているニューロン同士の結合の強さが変わっていく。最終的に図5のように、匂いAであるとはっきり判断できるようになるまで、学習は続けられる。このような学習したニューラルネットワークを用いることでパターン認識をすることができる。

今まで説明したような方法でパターン認識するのだがそれぞれ利点、欠点がある。例えば、図4で異なる匂いの領域の境界が近接している場合など境界を判断しにくいときは、ニューラルネットワークによる方法の方が高い認識率を得られる。しかし、ニューラルネットワークの学習には、ずいぶん時間がかかるのが難点である。また、多変量解析はその過程を数式に表すことができるが、ニューラルネットワークでは難しい。このため多変量解析の方が得られた結果を容易に解釈できる。現在はこれらの場合により使い分けている。

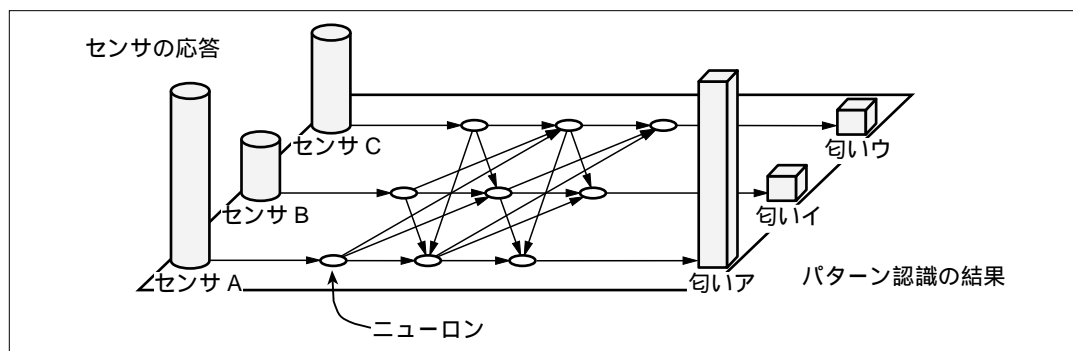


図5 各匂いに対するセンサの応答



使い方を考えよう

ここまで匂いセンサがどのような仕組みなのか見てきた。では、この匂いセンサに対してどのような研究が行われているのだろうか。

匂いセンサの分野で今研究が盛んなものの一つに携帯型匂いセンサがある。これまでの匂いセンサは据置型だったのだが、これを持ち運びできるようにしようということである。携帯型は環境測定などの屋外で匂いセンサを使いたい場合や、その小ささを活かし、たくさん匂いセンサを並べて情報収集するときなどに役立つ。現在は測定回路を集積回路にまとめニューラルネットワークを一般のコンピューターでソフトウェアにより実現している。しかし一般のコンピューターを使う限り、装置全体を十分小さくすることはできない。そこで、ニューラルネットワークと測定回路をとともに集積回路にまとめ、システムを小型化しようとしている。

携帯型匂いセンサの実現には感度と選択性以外に必要な性能がある。それはロバスト性と呼ばれるものである。これは匂いを検出するときの環境（匂いの濃度や湿度、温度など）が変わっても、その識別結果に影響を与えない性質のことである。従来、匂いセンサを用いた計測は測定条件を厳密にコントロールした上で行われてきた。そうすることで、人間でも識別することが困難な匂いの微妙な違いまで識別できるようになった。しかし、匂いセンサを使いやすくするためには測定条件などの制約はできるだけない方がよい。特に携帯型匂いセンサの場合、ロバスト性の向上が不可欠となる。実験室を一步出れば測定条件はその場所ごとによって変わってしまうからだ。このように、携帯型匂いセンサではニューラルネットワークを含むチップの作成と、ロバスト性向上の研究が行われている。

境界領域という言葉聞いたことがあるだろうか。ここ森泉・中本研究室の研究内容は、いくつもの分野が重なる境界領域である。今見てきたように境界領域の研究は幅広い知識が必要になる。しかし、これからの工学はこういった境界領域に

システムの小型化と、ロバスト性の向上の技術は、携帯型匂いセンサ以外の研究にも結びつく。例えば、ロボットである。森泉・中本研究室では匂いの出所を探し出すロボットを研究している。これは配管でのガス漏れを探すなどの、人では危険であるし手間のかかる仕事をロボットにしてみようということである。ロボットには匂いセンサと風向センサがついている。これらから、空間の匂いの勾配と風向きを測定し匂いの出所を推定する。この方向の推定には通常、コンピューターが使われるのだが、この方向の推定を集積回路にまとめることもしている。こうすることで、コンピューターを使わずロボット単体で、匂いの出所を探ることができる。ところで、風というのは非常に不安定なもので瞬間の情報から判断するのはとても難しい。ロボットの研究は5、6年前から現在まで行われている。最初はロボットがアリよりも遅いような速さで実験しても匂いの出所までたどり着けなかったが、今は2、3m位の間隔なら数分でたどり着けるようになっている。ロボットも今後広い分野で応用が期待される。

ここで紹介したのは研究が進行中のものであるが、これからの研究が待たれるものもまたある。想像できると思うが、匂いの種類というのは非常に多い。しかし現在はある目的の匂いがあったときに、どういうセンサがどういう応答を示すかというのは実験してみないと分からない。これでは目的の匂いの検出にすぐには対応できない。そこで、センサがいろいろない匂いに対して示す応答の予測や、どんな匂いに応答するセンサが有効かというような理論的な部分の確立が必要である。森泉・中本研究室ではこの理論の確立についても取り組んでいる。

新しい分野が開けるのではないだろうか。

最後になりましたが、お忙しい中取材に協力して下さった、森泉先生、中本先生に心より感謝申し上げます。

(栗原 賢一)