金属学や材料学を もっとおもしろい科目にしよう！

Make Our Lecture on Metallurgy or Materials Science More Interesting !

小 川 恵 一

Keiichi OGAWA

金属学や材料学を魅力的な講義科目にするにはどうすればよいか，筆者の経験を述べる。大学教育が大衆化するなかで学生に興味を持たせつつ，質の高い学問的内容を系統的に教授することは重要である。それには，学生が日頃接している先端科学技術を教材にして，その背後にある基礎原理に親近感を持たせることが有効である。その後に，金属学や材料学の基礎概念を教える。

本論説ではその具体例を示した。地球の温度と量子論，繊維強化複合材料と応力集中，原子間力顕微鏡と曲げ変形のバネ定数，である。講義内容は見通しがよく，応用がきき，かつ長寿命であるべきことを主張した。

キーワード：講義ノート，先端材料，シラバス，地球の温度，応力集中，原子間力顕微鏡，魅力ある講義。

We are living in the modern world comfortably only owing to the highly advanced science and technology, an important part of which is the metallurgy and materials science.

I show how these lectures can be made more attractive for students. The key is to make the students acquainted with the advanced science and technology through their familiar goods and phenomena first and then that the underlying scientific and engineering principles are lectured. A few examples are given.

The contents of the lecture so chosen must be systematic, perspective, of wide applicability and of long life.

Keywords : Lecture Note, Advanced Materials, Syllabus, Temperature of the Earth, Stress Concentration, Atom Force Microscope, Good Lecture.

1. はじめに

金属学や材料学をもっとおもしろい，生き生きとした講義科目にしたいと考えている人は多いことと思う。その有力な方法は，金属学や材料学が先端科学技術と密接に結び付いていることを最大限に活用することであろう。事実，身のまわりにある各種の高機能先端材料は，どれも魅力的な教材となり得るからである¹⁾。

最近の円高は，わが国のモノづくり産業の空洞化を加

速しつつある。一般にモノづくり産業はそのすそ野が広く，他産業への波及効果も大きく，雇用吸収力も大きい。モノづくりの基礎となる学問が金属学や材料学である。産業の空洞化を許しては，せっかく金属学や材料学の教育を受けた学生もその活動の場を失う。したがって，この方面の教育を魅力的にし，21世紀をにらんだ創造的人材を育成することはわが国の急務とさえ言えるだろう。

教育には時間がかかる。大学に入ってから現場で一人前になるまでに10年から20年かかる。10年から20年たっ

てみても役立つ教育とは何か。それには21世紀の主役となるわが国の産業群を予想するののも一つの方法であるが、その予想はきわめて困難であろう。筆者が大学を卒業した1959年当時はコンピュータの萌芽(ほうが)期であった。真空管式の電子計算機が試作されていたが、その後のトランジスタ化や集積回路技術、ソフト技術の著しい発展を適格に予想することは困難であった。

そこで、筆者が学生時代当時の(それは40年も前のことになるが)金属学や材料学を振り返ってみるのも無意味ではないだろう。当時の金属学や材料学は、経験的知識の集積という色彩が色濃かった。一方、欧米では1940年代に入ると、材料をミクロな観点から系統的に理解しようとする努力が、格子欠陥や固体物理学を中心に重ねられていた。このとき筆者はコットレルの名著「THEORETICAL STRUCTURAL METALLURGY」に出会った²⁾。わずか244ページのコンパクトな本である。いまでも魅力を失わないこの小冊子は量子力学、固体電子論、原子の周期律、バンド理論、合金の理論、活性化過程、状態図、拡散、秩序・無秩序変態、核形成と成長、金属の変形過程について要点を押え、実に見通しよく書かれている。この本の初版は1948年に、第2版が1955年に出版されている。筆者は1959年にこの第2版に接したことになる。この本に込められている材料に対する見方は、いまでも通用する。もちろん、内容によっては通用しない部分もあるが、その骨格部分は依然として変わっていない。

教育の本質は、このコットレルの本に具現化されているように思う。見通しがよく、応用がきき、長寿命である。それに対して、現在は情報が詳細に過ぎ、見通しはかえって得にくく、情報の寿命も短い。材料は先端技術化され過ぎ、広範囲にわたり材料を見渡すことが困難になっている。金属学や材料学の講義が魅力を失うゆえんであろう。

いかにして金属学や材料学に対する講義の魅力を回復するか、以下に私のささやかな試みを紹介する。2. では私が実際に担当している講義である「先端材料科学」の構成方法について、3. では私なりに工夫している講義内容の例を2, 3取り上げる。新鮮な驚きを学生に与えるのがポイントである。4. では講義を魅力的にするポイントを箇条書きにする。5. では金属学や材料学に関し、21世紀をにらんで私見を述べる。

2. 「先端材料科学」——私の試み

これから横浜市立大学文理学部理科(物理、化学、生

物、数学)の学生を対象に行っている講義「先端材料科学」を紹介する。「先端材料科学」は選択科目で、学年には制限がない。半年で完結する。理学部の学生が対象なので科目名は「先端材料科学」となっているが、その内容はタイトルの金属学・材料学とあまり変わらない。

講義は以下の手順で構成する。すなわち、先端材料(Aとする)をその背後にある物理(Bとする)にしたがって、系統的に並べることから始める。通常の場合と、構成の手順が逆であることに注意していただきたい。

A. 先端材料

- a) オゾンホール, 地球温暖化, 省資源・省エネルギー, 開いた系・閉じた系, リサイクル
- b) 原子・分子操作
- c) 反射高速電子線回折強度振動(RHEED振動), 分子線エピタキシ(MBE)の計算機シミュレーション
- d) 複合材料, 原子間力顕微鏡(AFM)
- e) 発光ダイオード(LED), メモリ素子(DRAM)
- f) 光ファイバ, フォトンSTM, レーザ
- g) Fe-Nd-B, マグクリップ, 磁気テープ, フロッピーディスク(カバーをはぎ取り中身を見せたもの)
- h) 高温超伝導体

B. その背後にある物理 (上の a), b), c) …には以下の a), b), c) …が順次対応している)

- a) 光エネルギーと原子, 分子
- b) 原子
- c) 結晶
- d) 強度
- e) バンド構造
- f) 光学的性質
- g) 磁氣的性質
- h) 超伝導

講義ではまずA a)に関して、実物を示したり、簡単なデモ実験をしたり、研究者が作製したビデオを映したり、ニュースや学術雑誌に取り上げられた話題をOHPで紹介する。A a)について一通りの感じを学生に与えてから、その背後にある物理B a)を解き明かす。同様に、講義は、A b), B b), A c), B c) …の順序で進めていく。ポイントは、身近なモノが意外と深く物理に結びついていることを、明らかにすることである。これは「基礎学問を応用するセンス」をみがく上でも不可欠である。この講義が終わってみると、知らず知らずのうちにBのa), b), c) ……、h)と固体物

理学を系統的に学んでしまうことになる。こうなれば講義は成功である。

3. 講義内容の例

ここで、私の講義ノートを2, 3紹介し、2. で述べた内容を具体的に示す。3.1では地球の温度という身近な現象が量子論と深くかかわっていることを示す。3.2では簡単なデモ実験で応力集中のすさまじさを肌で感じてもらい、複合材料へと導く。3.3では曲げ変形の意外な柔らかさを弾性論で示し、原子間力を検出するのに十分な感度を備えていることを示す。いずれの例も、身近な現象が意外な形で物理と結び付く。

3.1 地球の温度(～300K)はいかに決まるか

地球の温度は、(a)太陽から地球へ降り注ぐふく射エネルギーと、(b)地球から宇宙に放射されるふく射エネルギーのバランスで決まる。

太陽の温度(～6,000K)は地球の温度(～300K)に比べて格段に高いので、太陽からくるふく射線のスペクトルは、地球から放射されるふく射線に比べて周波数の高い方に中心がある。(a)は短波ふく射、(b)は長波ふく射とよばれる。

太陽と地球の距離は十分遠く、太陽光は地球上からみてほぼ平行光線となる(図1参照)。太陽光に垂直な平面を地球表面上に考え、太陽光から受け取る単位面積当たりの短波ふく射エネルギーを S (Wm^{-2})としよう。 S は大気圏が存在しない場合の(すなわち大気圏による反射や吸収のない場合の)仮想的な値として定義され、太陽定数とよばれている。大気圏(雲、大地、海洋など)による太陽光の有効反射率 α はアルベド(albedo)数と

図1 Sは太陽、Eは地球、aは短波ふく射、bは長波ふく射を示す。図で太陽Sは地球Eに比較して格段に縮小して描かれている。地球の回りのシャドウは大気、rは地球の半径である。入射短波ふく射エネルギーの一部(その割合を α とする)は大気圏(例えば雲)や地球により反射される。長波ふく射は温度 T の地球から放射されるふく射エネルギーである。

よばれる。一方、温度 T (K)の物体はその表面からふく射線を放出し、そのエネルギーを失う。黒体ふく射を仮定すると、その単位表面積当たりの放出エネルギー R (Wm^{-2})は次式で与えられる。

$$R = \sigma T^4 \quad (1)$$

この式はシュテファン-ボルツマンの法則として知られている。 σ ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)の値は実験により求める。

これだけの準備をすると、地球の温度 T (K)はすでに述べたように、次の2つのエネルギーバランスにより決まる。すなわち、

a) 地球(その半径を r (m)とする)表面に入ってくる太陽光ふく射エネルギー

b) 温度 T の地球表面からふく射線として失われるエネルギー

このa)とb)のエネルギーバランスは

$$\pi r^2 S (1 - \alpha) = 4 \pi r^2 \sigma T^4 \quad (2)$$

となる(図1)。すなわち、

$$T = \{S(1 - \alpha)/4\sigma\}^{1/4} \quad (3)$$

となる。(2)式の左右両辺にある地球の半径 r は約することができ、(3)式では消える。

地球表面から宇宙のかなたへ長波ふく射の形で失われるふく射線は、実はその一部が大気圏で反射され地球表面に戻ってくる(図2)。これが温室効果である。長波ふく射が大気圏を通過する割合は透過係数 f とよばれる。この f を考慮すると(2)と(3)は

$$\pi r^2 S (1 - \alpha) = 4 \pi r^2 f \sigma T^4 \quad (4)$$

図2 地球Eから放射される全長波ふく射エネルギー1のうち、割合 f が宇宙へ放射され、残りの $(1-f)$ は大気圏で反射され、地球へ戻ってくる。

$$T = \{S(1 - \alpha)/4f\alpha\}^{1/4} \quad (5)$$

となる。

実測値 $S = 1.38 \times 10^8 \text{ Wm}^{-2}$, $\alpha = 0.28$, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ (Wm}^{-2} \text{ K}^{-4})$, $f = 0.61$ を(5)式に代入すると

$$T = 291\text{K} = 18^\circ\text{C} \quad (6)$$

となる。このような簡単な計算から地球の平均温度が納得のいく温度 18°C に決まるのは驚きである。(5)式より, f が $\pm 1\%$ に変わると T は $\pm 0.7\text{K}$ 変わることがわかる。温室効果が地球環境に与える影響の大きさがわかる。

以上の計算で, 地球の温度に対して T^4 則の果たす重要な役割がわかったと思う。これだけの前置きをしてから, 講義ではシュテファン-ボルツマンの係数 σ をプランクのふく射公式から導く。場合によっては, さらに光量子仮説からプランクのふく射公式を導く。意外にも, 地球の温度と光量子仮説が結び付くことを強調する。

3.2 応力集中とデモ実験と複合材料

切り欠きを入れた紙と入れない紙を学生に配り, 引張り実験を体験させる。図3に用意する紙を示す。紙としてB5版ゼロックスコピー用紙を使う。強度がこのデモ実験にちょうど都合よいからである。(コピーしそこなった用紙で十分である) まず, カッタを用いてこのB5

図3 切り欠き効果を確認するデモ実験用紙(a), (b)では幅 $\sim 3\text{cm}$ の切り込みが, (c)には曲率半径 ρ が $\sim 0.3\text{cm}$ の切り込みが入っている。図をわかりやすくするため, 切り込みの幅は不釣り合いに拡大してある。

コピー用紙を縦に半分に切る。その横幅は約 9cm となる(図3a)。別に, 横幅が約 12cm の縦長の半ぺらを, やはりB5コピー用紙からカッタで切り取る。この横幅が約 12cm の半ぺらを2枚用意する。その一方には深さ 3cm の鋭い切り込みをハサミで横に入れる(図3b)。もう一方には, 曲率半径が約 0.3cm の切り込みを入れる(図3c)。a, b, c いずれも, 切り込みが入っていない部分の横幅が一番短いところでは同じ $\sim 9\text{cm}$ となる。

まず, 図3aの上下端をつかんで思い切り引張ってみる。なかなか破れない(破壊しない)ものである。次に図3bの上下端をつかんで引張ってみる。簡単に紙は破れる。最後に図3cの上下端をつかんで引張ってみる。aとbの中間の力で破れる。a, b, c はいずれも横幅が一定であるのに, このような差はどうして出るのだろうか。

ここで応力集中因子を導入する。図4の試験片に, たまたまマイクロクラック(その横幅を $2c$, 先端部の曲率半径を ρ とする)が存在したとしよう。この試験片を応力 σ で引っ張ると, マイクロクラックの先端部には, 次

図4 マイクロクラックと応力集中。マイクロクラックは左右対称とし, 横幅は $2c$, 先端部の曲率半径は ρ とする。この試験片を応力 σ で引っ張ると, マイクロクラック先端部には拡大された応力 σ_m が作用する。この図のマイクロクラックは不釣り合いに拡大してある。実際の材料に存在するマイクロクラックは裸眼では見えないほど小さい。形容詞のマイクロが付くゆえんである。

式で与えられる拡大された応力 σ_m が働く。

$$\sigma_m = 2\sigma(c/\rho)^{1/2} \quad (7)$$

因子 $2(c/\rho)^{1/2}$ は応力拡大係数とよばれている。曲率半径 ρ が小さいほど、すなわち鋭いクラックほど応力は拡大される。この効果は先ほどの紙を用いた実験で確認したわけである。

式(7)によると、 c が小さいほど応力拡大係数は小さくなる。したがって、マイクロクラックのまったくない材料が一番強いのであるが、そのような材料は実際には存在し得ない。材料の製造過程でマイクロクラックが入ったり、また材料の表面には小さな傷が無数についているからである。この c を小さくするためには、意外なことに試験片を繊維状に細くすることである。マイクロクラックの幅 $2c$ は繊維状試験片の直径 d (例えば数 μm)より大きくはなり得ないからである。もし大きければ、繊維はその製造工程途中で切断したはずであり、欠陥品として取り除かれている。

とはいえ、細い繊維一本一本が支えることのできる力は小さい。そこで、いったん細くした繊維を再び束ね、ノリなどで接着後バルク材料として使用する。これが繊維強化複合材料である。例えばスポーツ用品には炭素繊維やガラスファイバが広く使用されている。釣りさお、テニスやバドミントンのラケット、棒高跳びのポール、スキーの板などはその例である。

木や竹の優れた機械的性質も、繊維強化複合材料として理解することができる。このようにして植物は、応力集中による破壊を避けているのである。賢明であると言わざるを得ない。

なぜ竹は中空で、節があるのか？これはまた繊維強化複合材料とは違った意味の、材料力学のおもしろい問題である。読者への宿題として残しておこう。中空のヒントは次の3.3の曲げ変形に隠されている。

3.3 原子間力顕微鏡(AFM)と曲げ変形

1981年、BinnigとRohrerによって発明された走査型トンネル顕微鏡(STM)は計り知れないインパクトを表面物理や原子・分子操作に及ぼした。その影響は現在も進行中で、金属表面(x, y 平面とする)に立っている電子の定在波が観察されるところまで来ている³⁾。電子の定在波を検出するためには、トンネル電流を $0.02\text{\AA}$ の精度(試料表面と探針間の距離)で検出する必要がある、現在ではそれが可能となっている。

トンネル電流の代わりに、試料最表面の原子1個と探針最先端部の原子1個との間に働く力(すなわち、原子

間力)を検出できれば、STMに代わる原子間力顕微鏡(AFM)を作ることができる。そのためには、きわめて微小な力(原子間力)に回答可能なきわめて柔らかいバネが必要である。そのバネが身近なところに存在する。そのことに気付いたのはSTMのBinnigであった⁴⁾。

コピー用紙の引張り実験(3.2)でもわかるように、紙を力一杯引張っても紙は目で見えるほど伸びはしない。紙の弾性定数(ヤング率: Y)は意外に大きいのである。しかし、同じ紙はヒラヒラと簡単に曲げることができる。これはどうしてだろうか。

図5を見ていただきたい。曲げ変形では、曲率をいくら大きくしても中性軸は伸びも、縮みもしない。中性軸近辺の材料は力を支えることができない。(竹はこの力学的に無駄な材料を省いて、軽量化に努めている。3.2参照)中性軸方向の伸びや縮みは中性軸からの距離に比例して大きくなる(図5)。

薄い紙は、いわば中性軸近辺の材料だけで構成されている。紙がヒラヒラといとも簡単に曲がるゆえんである。

カンチレバー(片持ち梁、長さ l 、幅 b 、厚さ h)(図6参照)の曲げ変形は材料力学の標準的な問題として、

図5 曲げ変形と中性軸EF。曲げ変形前の板の断面図を $abcd$ とする。この板に力を加えて曲率半径が ρ となるように曲げる($ABCD$)。板の上面は ab から AB へ圧縮されるのに対して、下面は cd から CD へ引き伸ばされる。中性軸(板厚の中央に走っている二点鎖線と一点鎖線)は曲げ変形の前後も ef から EF へと形を変えるが、伸び縮みはない。

図6 カンチレバー(長さ ℓ , 紙面に垂直方向の幅 b , 厚さ h , ただし厚さ方向は不釣り合いに拡大してある)のバネ定数 β と試料原子2(質量 m)のバネ定数 α 。カンチレバー先端部の原子1は試料の最近接位置にある原子を象徴的に示す。この図では原子1, 2の間に引力 F が働いている, そのときのカンチレバーの変位が z である。

解が知られている。ここでは紙面が限られているため結果だけを示す。

$$F = (h^3 b Y / 2 \ell^3) z \quad (8)$$

$$= \beta z \quad (9)$$

で与えられる。 F はカンチレバー先端部に働く z 方向の力, Y はヤング率, z は力 F がカンチレバー先端部に加わったときの変位である。(9)式右辺の β は(8)式右辺の()内で定義され, 見掛け上のバネ定数にあたる。 β が (h/ℓ) の3乗に比例していることに注意されたい。 ℓ に比べて h がきわめて小さいとき, β はきわめて小さくなる。すなわち, きわめて弱いバネに相当する。どのくらい弱いのか, 次に数値を当たってみる。

家庭用アルミはく(その厚さ h は $15\mu\text{m}$ に規格化されている)を用いて, 大きさが $\ell=0.4\text{cm}$, $b=0.1\text{cm}$ のカンチレバーを作ったとしよう。Alのヤング率は $Y=0.76 \times 10^{11}\text{Pa}$ である。以上の数値を β の表式(式(8)の右辺()内)に代入すると

$$\beta = 5.3\text{N/m} \quad (10)$$

となる。これがカンチレバーのバネ定数である。

一方, 原子間結合力のバネ定数を α とすると, 原子(その質量 m)の振動数 ν はよく知られた式により

$$2\pi\nu = (\alpha/m)^{1/2} \quad (11)$$

で与えられる。 $2\pi\nu$ は一般に 10^{13}s^{-1} の程度の大きさである。試料原子の質量 m は $\sim 10^{-25}\text{kg}$ の程度である。これらの数値を式(11)に代入すると,

$$\alpha = 10\text{N/m} \quad (12)$$

と計算され, β と同程度となる。これは驚くべき事実である。というのは β はマクロスコピックな大きさの物体のバネ定数であるのに対して, α は原子ただ1個のバネ定数だからである。

ここで家庭用アルミはくを幅 $\sim 1\text{mm}$ 程度に細長く短冊形(長さ 2cm 程度)に切ったものを学生に渡し, 次の体験をさせる。短冊形の先 4mm を突き出して, 残りの部分を右手の親指と人差し指で挟む。突き出した 4mm の部分をカンチレバーとみなす。そこで, 左手人差し指の爪の部分を用いて, カンチレバー先端部分をそっと突き上げて見る。そのときに感じる力(???)が原子1個の結合力である。力は何も感じられないほど, アルミはくはしなやかである。原子間力センサとして使えるゆえんである。

4. 魅力ある講義にするために

講義で私が心している手法を箇条書きにしてみる(詳しくは文献1)を参照)と,

- 金属学や材料学の古典的概念は先端材料にその応用例を見付ける。
- 学会や社会で話題となっているトピックスを教材にする。
- インパクトの大きい最新の研究成果を取り入れる。
- ビジュアルに訴える。
- 講義と実物を結び付ける。
- 簡単な実験をして物理現象を身近に感じさせる。
- 新着雑誌(学術雑誌を含む)や良質の啓蒙書を活用する。

5. おわりに

私たちは便利さをひたすら追及し, その究極の形を求めて止まない。この傾向は理科系の測定装置についてもいえる。わずらわしいことはブラックボックス化する, その代わりに高度な機能が素人にも使えるようになる。この手法は一見利点に見えるが, 新しい着眼点や実験手法, 新概念を探し求めるときには致命的欠陥ともなる。いつの間にかブラックボックスの中身に無関心となり,

ブラックボックスの抱える限界に呪縛(じゅばく)されてしまうからである。

必要に応じてブラックボックスの中身をのぞいて見るだけの心構えと、そのからくりを解きほぐすノウハウを体得しなければならない。本来の知的好奇心はこの大胆なのぞき趣味(極めて素人的)と、それを可能にする精神的余裕にあるはずである。しかしながら、現代文明は便利さの追及のあまり、この素朴な知的好奇心から人間を遠く隔ててしまった。皮肉なことである。

エネルギー問題にしても、環境問題にしても、マルチメディアにしても、医療問題にしても、21世紀の抱える大問題は、現代文明の単なる延長上にその解があるわけではない。それなら、広い意味でブラックボックス化した科学技術の中身をあえてのぞき込み、場合によってはまったく新しい解を見付け出せる人材、すなわち創造的人間をいまから育成しなければならない。これこそが資源小国のわが国が生き残り、世界に貢献できる唯一の道であろう。地味ではあるが、その基礎として金属学や材料学の果たすべき役割は大きい。そういう流れに沿って金属学や材料学をとらえ、教えていきたいと思う。

参考文献

- (1) 小川恵一：講義「先端材料科学」——一つの試み——、まてりあ、33 (1994)、847
- (2) 小川恵一：私の推せん書、日経ニューマテリアル、1988年2月8日号、p.71
- (3) M.F.Crommie et al. : Nature, 363 (1993)、524
- (4) D.Ruger and P.Hansma : Physics Today, Oct., (1990)、23

.....

小川 恵一

1959年 東京大学工学部冶金学科卒業。
1961年 修士課程修了。
ペンシルバニア大学大学院Ph. D, ケンブリッジ大学(ポストドック), 東北大学工学部, 金属材料技術研究所を経て,
1991年 横浜市立大学大学院総合理学研究科教授

リフレッシュ教育 掲示板

問合わせ先：慶応義塾大学理工学部総務課

☎ 045-563-1141 (内線2172)

FAX 045-562-7625

705 慶応義塾大学理工学部公開講座

— マルチメディアと新しいライフスタイル —

内 容：通信インフラとマルチメディアのインパクト、マルチメディアのための通信事業、電子新聞・電子出版などの電子化情報サービス、行政サービスの電子化など、21世紀のライフスタイルについて解説。

日 程：6月17日(土)・6月24日(土)

時 間：13:00~16:00

定 員：100名

費 用：無料

講 師：松下 温(慶応義塾大学理工学部教授), 栗原定見(NTTマルチメディア推進部担当部長), 上林弥彦(京都大学教授), 大橋有弘(明星大学教授)

場 所：慶応義塾大学理工学部矢上台校舎16棟3階大会議室(東急東横線住吉駅 徒歩15分)

706 芝浦工業大学オープン テクノ カレッジ

— VLSIの基礎から実際まで —

内 容：VLSIの表面処理技術、配線技術、拡散、絶縁膜形成などの重要な技術から将来の展望をまでを平易に詳しく解説する。

日 程：6月22日~7月27日 毎週木曜日・全6回

時 間：18:15~20:15

定 員：50名

費 用：10,000円(未登録の方は登録料2,000円)

講 師：本学工学部電子工学科教授 長友隆男, 日本電気ULSIデバイス開発研究所技術課長 本間哲哉

受講対象者：企業の技術者・一般社会人

場 所：芝浦工業大学芝浦校舎本館43教室

問合わせ先：芝浦工業大学生涯学習センター事務局

☎ 03-5476-2938