

桜の開花予想式とアレニウス式(1)



早咲きで有名な河津桜の原木

そろそろ桜の開花予想がニュースでも聞かれる季節になりました。今年は暖冬のためか例年よりも早くなりそうとのことです。でも、桜の開花予想はどのようにして行うのでしょうか？今日から2日間、桜の開花予想とそれがアレニウス式と関係しているという話を書きます。

さくらの開花を決定づける要素はひとつではありません。桜は長い時間をかけて開花の準備を行っているからです。まず、(1)前年の夏ころに、翌春に咲く花のもととなる「花芽(かが)」を作ります。(2)その「花芽」は休眠状態に入ります。(3)秋から冬に一定の低温状態が続くと「休眠打破(休眠解除)」が起き、文字通り眠りから覚めます。(4)その後気温の上昇とともに育ち開花します。つまり半年以上かけて開花の準備をしているわけです。

開花予想に関して重要なのは、(3)の「休眠打破」と(4)の「花芽」～「蕾」への成長です。すなわち、開花準備の出発点となる「休眠打破」がいつ起きるのか？そしてその後どのような速さで成長するのが予測できれば、開花が予想できるということになります。

「休眠打破」については、一般に $2\sim 9^{\circ}\text{C}$ の温度領域に800-1000時間おかれると起きるといわれています。これを正確に予測するのは、詳細な気象データが必要となりますが、簡便的な計算法としては、11月から1月にかけてそれぞれの月の平均気温の上下により補正する(平均気温が高いと「休眠打破」が遅れ、低いと早まると計算する)法が提唱されています。もっと簡便には、2月1日や2月4日を、「休眠打破」の「基準日」として計算している例もありました。

「休眠打破」から「開花」までの予測については、いろいろな計算法が紹介されており、①立春(基準日)からの日平

均気温の積算値が 360°C に達する日、②2月1日(基準日)からの日平均気温の積算値が 400°C に達する日、③同じく2月1日からの日中最高気温の積算値が 600°C に達する日、などがあるようです。

ところが調べていくうちに、もっと学術的な研究から導き出された開花予想式があることがわかりまし

た。大阪府立大学の青野教授らが研究している「魔法の式」と呼ばれている式がこれです。 $\sum \exp(E_a \cdot (T - T_s)) / (R \cdot T \cdot T_s) = 23.8$ という式です。ここで、 E_a は活性化エネルギー、 R はガス定数、 T はその日の日平均温度、 T_s は基準温度であり、温度変換日数法と呼ばれています。

この式の意味するところは、日々の日平均気温からその日の成長度合が、基準温度(例えば 15°C)における成長度合を1とした時のいくつにあたるかを計算し、それを毎日積算していき、積算値が 23.8 に達したときに開花するというものです。

ところで、この式どこかで見たことはありませんか？そうです、「アレニウス式」に似ているのです。この続きは明日書きます。

この式の意味するところは、日々の日平均気温からその日の成長度合が、基準温度(例えば 15°C)における成長度合を1とした時のいくつにあたるかを計算し、それを毎日積算していき、積算値が 23.8 に達したときに開花するというものです。

ところで、この式どこかで見たことはありませんか？そうです、「アレニウス式」に似ているのです。この続きは明日書きます。

桜の開花予想式とアレニウス式(2)



菜の花、河津桜、青空のコラボレーション

昨日はさくらの開花予想に関する「魔法式」があり、それが「アレニウス式」に似ているというところまで書きました。今日はこの続きです。世の中は新型コロナ一色ですが、ひと時忘れて桜の花を思い浮かべながら読んでください。

魔法式は $\sum \exp(E_a*(T-T_s))/(R*T*T_s)=23.8$ でした。ここで E_a は活性化エネルギー、 R はガス定数、 T はその日の日平均温度、 T_s は基準温度です。この魔法式を少し書き換えてみるとアレニウス式に似ていることが良くわかります。左辺は以下のように書き換えることができます。 $\sum \exp(E_a*(T-T_s))/(R*T*T_s) = \sum \exp((E/RT)*(T/T_s-1))$

一方アレニウス式は $k=A \exp(-E/RT)$ ここで k は反応速度定数、 A は頻度因子(定数)、 E は活性化エネルギー、 R はガス定数、 T は温度です。スウェーデンの化学者、アレニウスによって提唱された化学反応速度に関する式であることは、化学を学んだ人であれば誰でも知っていることでしょう。書き換えた式「魔法式」の (E/RT) は正負の違いはあれアレニウスの式の $(-E/RT)$ と同じであり、 (T/T_s-1) はその温度補正項とみなすことができます。

ちなみに後半の温度補正項は、基準温度を一般的な 15°C とすれば、2月、3月では日平均温度は 15°C より低いので、かならずマイナスとなります。温度補正項は温度の一次関数に、魔法式左辺 $\exp(E_a*(T-T_s))/(R*T*T_s)$ は温度の指数関数になります。興味のある方は、下のファイルをあけて、これらの数値の温度変化を御確認ください。

青野教授らは、全国の多数の地点で実際の気象条件と桜の開花日を「魔法式」による予想日とともに検証し、この両者を良い精度で一致させることができたとしています。

長々と書いてきましたが、このブログを書こうと思った理由は、「桜の開花」のような自然現象が、実は化学反応の速度定数を求める式と同じ考え方で予測できるということに感動を覚えたからです。この「温度変換日数法」は桜だけでなく様々な植物の開花予想に使用されています。アレニウス式は、化学反応速度のみならず、植物の成長予測にも有効なのです。

翻って塗料に思いをはせれば、貯蔵安定性試験や促進試験など、温度条件を変動させて塗料の試験を行う機会はたくさんありますが、もちろん、そうした試験が実施されている背景にはこのアレニウス式の存在があります。日々の業務の中でとかくこのことを忘れがちになりますが、桜の開花すら律するこのアレニウス式を、温度条件を変動した試験を行うたびに思いだしてその意義を確認してもらえたら良いなと思います。



河津川両岸を埋め尽くす河津桜の威容

このブログを書くにあたり以下のサイトの情報を参考にさせていただきました。

<https://weathernews.jp/s/topics/201802/150105/>

<https://withnews.jp/article/f0180319001qq0000000000000000W08e10701qq000016960A>

https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet1943/52/2/52_2_125/_pdf/-char/en

<http://www1.ous.ac.jp/garden/kenkyuhoukoku/13/Naturalistae13-1-7.pdf>

桜の開花予想式を検証する

3月14日土曜日に、靖国神社の標本木の桜(ソメイヨシノ)に5輪以上の花が開き、気象庁は桜の開花宣言を行い、史上最も早い開花となりました。冷たい雨の中での開花宣言となりましたが、今日は、先日ご紹介した開花時期を予想するための、いわゆる開花予想式的的中率を今年の気象データをもとに検証してみたいと思います。

先日ご紹介した開花予想式とその検証結果は以下の四つです。

- ①2月1日を基準日とし日平均気温の合計が400を超えた日 ⇒ 3月16日
- ②2月4日を基準日とし日平均気温の合計が360を超えた日 ⇒ 3月14日
- ③2月1日を基準日とし日最高気温の合計が600を超えた日 ⇒ 3月15日
- ④魔法式 $\exp(Ea*(T-Ts))/(R*T*Ts)$ の合計が23.8を超えた日 ⇒ 3月14日

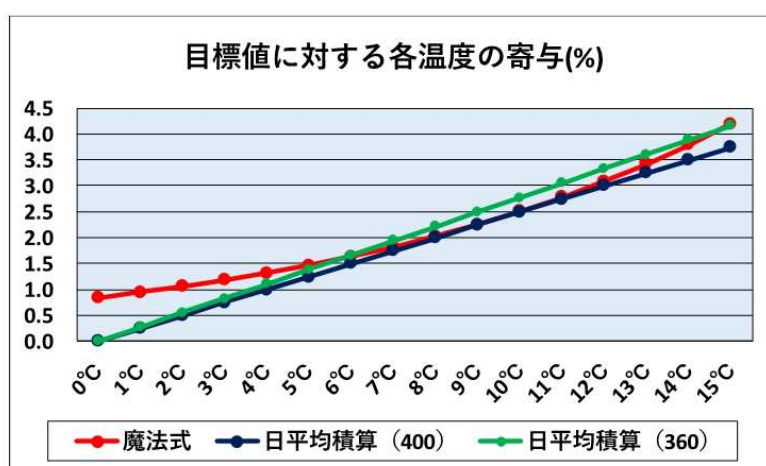
※検証の使用した気象データは気象庁のサイトのものを利用しました。魔法式の基準日(休眠打破の翌日)は、正しくは休眠打破の条件である低温域の積算時間で決定すべきなのですが、あいにく計算法が調べきれなかったので2月1日とし、魔法式の中の定数Eaは70KJ/mol、Tsは15°C(288.15K)も下記参考サイトの情報から引用しました。

<http://www1.ous.ac.jp/garden/kenkyuhoukoku/13/Naturalistae13-1-7.pdf>

結果は、①と④が的中でしたが、ここで最も重要なことは、どれを使用してもほぼ的中していたとい

うことではないかと思います。であれば、専門家は別にして、一般人が開花予想するのであれば、簡単な①～③を使えばよいということになるのではないのでしょうか？ これなら、2月の初めから毎日の平均気温か最高気温を積算していき、近くなったら週間予報の数値をもとに素人でも開花予想ができそうです。でも①～④の式においてどんなところで差が出たのでしょうか？

これを考えるために、専門家が使用しているという④の魔法式と①②の日平均気温積算方法における各温度の目標値への寄与(目標値に対しその温度では何%目標値に近づけるか?)を比べてみました。結果が下のグラフです。



ここで魔法式は指数関数であり、①と②は一次式です。①と②をそれぞれ魔法式と比較すると次のようになります。①の場合(目標値 400)は、8～11°Cでは魔法式とよく一致していますが、それ以外の領域では魔法式に比べて小さな値をとっています。②の場合(目標値 360)には、最初魔法式よりも小さな値ですが、7°Cで逆転しあとは15°C付近まで魔法式よりも大きな値をとることがわかります。これはいい悪いではなく、近似の問題ですので、言えることは、①の場合には、魔法式の予想値よりも(起算日が同じであれば)常に遅れた予想になるということです。そして②の場合には、魔法式と比べ、寒い日が多い年は遅れ気味の予想となり、温かい日が多い年は早めの予想になりやすいということがわかります。これでそれぞれの式の特徴がわかりましたので、これをもとに予想を補正することもできそうです。

桜の開花予想式を例にとって検証しましたが、仮説と検証、これは実験における基本だと思います。しかし実験に限らず仕事を行うときには、必ず仮説をたてること、そして結果がでたらその仮説が正しかったかどうか検証すること、さらに仮説が正しくなかった場合にはどこが違っていたかを考えることはとても有用なやり方です。塗料製造という科学に基づく実業を生業とするものとして常に心がけたいものだと思っています。