

音階による物性原理解明への試み —物質の振動と音階の関係—

村井 義洋^{†1}, 野村 正人^{†2}

Attempts to physical principles elucidate by the scale —Relationship of vibration and the scale of material—

Yoshihiro MURAI^{†1} and Masato NOMURA^{†2}

Abstract

I pursued frequency (Hz) of a musical scale for one octave in a temperament from frequency 440 Hz of A. I divided frequency (Hz) by velocity of light c and converted it into wave number (cm^{-1}). If a scale becomes high 1 octave, frequency will double. I calculated wave number to about $900\text{--}4000\text{cm}^{-1}$ (a range measured in an IR spectrum). From the wave number that I pursued and the scale corresponding to the wave number, I converted 20 kinds of amino acids into a musical scale. I compared the scale of a side chain of nonessential α -amino acid and essential amino acids. Except for lysine, there was surely E \uparrow in essential amino acids. In addition, I converted a wavelength observed in an UV spectrum into a musical scale.

Keywords: Functional group, Vibration, Frequency, Temperament, Wavenumber

1. はじめに

当研究室では、植物、微生物から新規天然有機化合物および生理活性物質の抽出、単離、精製を行っている。抽出、単離、精製した天然物質の絶対構造はX線結晶解析やNMR(Nuclear Magnetic Resonance)をはじめ、IR(Infrared), UV(Ultraviolet), MS(Mass)スペクトルなどの機器解析を駆使し決定した^{1~3)}。特に物質の官能基などを同定するIRスペクトルは、分子の結合の振動を測定するものである⁴⁾。1986年、大野乾ら^{5,6)}により酵母や粘菌、鶏などの塩基配列を音階に変換する研究が報告された。

本論文では、分子の結合の振動を測定するIRスペクトルで観測された波数を音階に変換することによって物質の振動と音階の関係について明らかにした。

まず、著者らは1オクターブ分12音の周波数(Hz)を平均律で求め、波数(cm^{-1})に変換した。次に、この波数を用い、IRスペクトルで観測される約 $900\text{--}4000\text{cm}^{-1}$ に対応する値を計算で求めた。さらに、ここで得た波数とこれに対応する音から α -アミノ酸20種類の官能基の波数を音に変換した。また、UVスペクトルで観測される波長も音に変換できるようにした。

2. IRスペクトルから音階への変換

化合物をIRスペクトルで測定すると、分子の結合の振動が波数で観測される。この観測波数を音に変換した。

2.1 IRスペクトル

分子の振動には、伸縮振動および変角振動という2種類の型があり、伸縮振動には対称伸縮振動と逆対称伸縮振動、変角振動には面内対称変角振動(挟み振動)、面内非対称変角振動(横揺れ振動)、面外対称変角振動(縦揺れ振動)、面外非対称変角振動(ひねり振動)という種類がある。伸縮振動とは原子間の距離、つまり結合の長さが増減するような化学結合軸に沿った周期的な伸び縮みの振動である。変角振動とは結合の長さは変化せず、原子の位置が化学結合軸からずれる振動(2つの化学結合間の結合角の変化、または原子団全体が分子内の残りの部分に対して行う運動)である^{7,8)}。IRスペクトルで測定すると、分子の振動は吸収帯として観測される。これから読み取れる波数を用い、物質の官能基の同定は行われている。まず、著者らは音の周波数(Hz)を波数(cm^{-1})に変換した。

2.2 周波数を波数に変換する式

波数 ν' (cm^{-1})は、1 cmあたりに振動波がいくつあるかを示すもので、式(1)で求められる(λ : 波長)。

$$\nu' = 1/\lambda \quad (1)$$

周波数 ν (Hz)は、1秒あたりに振動波がいくつあるかを

^{†1} 近畿大学全学共通教育機構

^{†2} 近畿大学工学部化学生命工学科

General Education Coordinating Committee,
Kindai University

Department of Biotechnology and Chemistry,
Faculty of Engineering, Kindai University

示すもので、式(2)で求められる(c:光速)。

$$v=c/\lambda \quad (2)$$

式(2)は変形すると、式(3)となり、

$$\lambda=c/v \quad (3)$$

この式(3)は式(1)に代入すると、式(4)となる⁹⁾。

$$v'=1/\lambda=v/c \quad (4)$$

これを用いることにより、周波数を波数に変換することができるようになった。

2.3 波数から音への変換

著者らは基準となる1オクターブ分12音の周波数を、Aの周波数である国際基準440 Hz¹⁰⁾より平均律¹¹⁾で求めた。Aを基音とし、これより高い音は440 Hzを表1に示す音の幅ごとの周波数比で掛け、低い音は440 Hzを周波数比で割ることによって、それぞれの音の周波数を求めた。

C	: 440 ÷ 29/12 ≒ 261.63 (Hz)
C#	: 440 ÷ 28/12 ≒ 277.20 (Hz)
D	: 440 ÷ 27/12 ≒ 293.68 (Hz)
D#	: 440 ÷ 26/12 ≒ 311.13 (Hz)
E	: 440 ÷ 25/12 ≒ 329.63 (Hz)
F	: 440 ÷ 24/12 ≒ 349.22 (Hz)
F#	: 440 ÷ 23/12 ≒ 370.00 (Hz)
G	: 440 ÷ 22/12 ≒ 392.00 (Hz)
G#	: 440 ÷ 21/12 ≒ 415.31 (Hz)
A	: 440 × 1.00 ≒ 440.00 (Hz)
A#	: 440 × 21/12 ≒ 466.17 (Hz)
B	: 440 × 22/12 ≒ 493.88 (Hz)

次に、式(4)より、求めた12音それぞれの周波数(Hz)を光速cで割り、波数(cm⁻¹)に変換した。

C	: 261.63 / c ≒ 8.727 × 10 ⁻⁹ (cm ⁻¹)
C#	: 277.20 / c ≒ 9.246 × 10 ⁻⁹ (cm ⁻¹)
D	: 293.68 / c ≒ 9.796 × 10 ⁻⁹ (cm ⁻¹)
D#	: 311.13 / c ≒ 1.038 × 10 ⁻⁸ (cm ⁻¹)
E	: 329.63 / c ≒ 1.100 × 10 ⁻⁸ (cm ⁻¹)
F	: 349.22 / c ≒ 1.165 × 10 ⁻⁸ (cm ⁻¹)
F#	: 370.00 / c ≒ 1.234 × 10 ⁻⁸ (cm ⁻¹)
G	: 392.00 / c ≒ 1.308 × 10 ⁻⁸ (cm ⁻¹)
G#	: 415.31 / c ≒ 1.385 × 10 ⁻⁸ (cm ⁻¹)
A	: 440.00 / c ≒ 1.468 × 10 ⁻⁸ (cm ⁻¹)
A#	: 466.17 / c ≒ 1.555 × 10 ⁻⁸ (cm ⁻¹)
B	: 493.88 / c ≒ 1.647 × 10 ⁻⁸ (cm ⁻¹)

しかし、ここで得た波数は1.000 × 10⁻⁸ cm⁻¹前後という非常に小さい数値であった。

音は1オクターブ高くなると、周波数が2倍になる(表1)。同様に、2倍の周波数2νを式(4)に代入すると、式(5)のように波数も2倍になる。

$$2\nu' = (2\nu)/c \quad (5)$$

このことから、上記の音階の波数に2の1~38乗を掛けた。その結果、2の36~38乗を掛けた波数はIRスペクトルで観測される約900~4000 cm⁻¹に対応する値となった。このように得られた波数の音階における周波数への対応は表2に示した。表中の↑と↓は1199 cm⁻¹のCから2264 cm⁻¹のBまでの音階より高いか低いかを示したものである。

この表2より、半音高い音との波数の中央値を求め、ここで得た数値より各音へ変換する波数の範囲を決定した(表3.)。

表1. 平均律音階での周波数比

基音	: × 1.00
短2度	: × 2 ^{1/12}
長2度	: × 2 ^{2/12}
短3度	: × 2 ^{3/12}
長3度	: × 2 ^{4/12}
完全4度	: × 2 ^{5/12}
増4度	: × 2 ^{6/12}
完全5度	: × 2 ^{7/12}
増5度	: × 2 ^{8/12}
長6度	: × 2 ^{9/12}
減7度	: × 2 ^{10/12}
長7度	: × 2 ^{11/12}
オクターブ	: × 2.00

表2. 音の周波数と波数の対応

音	周波数 Hz (× 10 ⁻¹³)	波数 cm ⁻¹
G ↓	2.690	898.6
G# ↓	2.850	952.0
A ↓	3.020	1009
A# ↓	3.200	1069
B ↓	3.390	1132
C	3.600	1199
C#	3.810	1271
D	4.040	1346
D#	4.280	1426
E	4.530	1511
F	4.800	1601
F#	5.090	1696
G	5.390	1797
G#	5.750	1904
A	6.050	2017
A#	6.410	2137
B	6.790	2264
C ↑	7.190	2399
C# ↑	7.620	2542
D ↑	8.070	2692
D# ↑	8.550	2862
E ↑	9.060	3022
F ↑	9.600	3202
F# ↑	10.20	3393
G ↑	10.80	3594
G# ↑	11.40	3808
A ↑	12.10	4034

表 3. 音と波数の範囲

音	波数 cm ⁻¹
G ↓	873 ~ 927
G# ↓	927 ~ 981
A ↓	981 ~ 1039
A# ↓	1039 ~ 1101
B ↓	1101 ~ 1165
C	1165 ~ 1235
C#	1235 ~ 1309
D	1309 ~ 1386
D#	1386 ~ 1469
E	1469 ~ 1556
F	1556 ~ 1649
F#	1649 ~ 1747
G	1747 ~ 1851
G#	1851 ~ 1961
A	1961 ~ 2077
A#	2077 ~ 2201
B	2201 ~ 2332
C ↑	2332 ~ 2471
C# ↑	2471 ~ 2617
D ↑	2617 ~ 2777
D# ↑	2777 ~ 2942
E ↑	2942 ~ 3112
F ↑	3112 ~ 3298
F# ↑	3298 ~ 3494
G ↑	3494 ~ 3701
G# ↑	3701 ~ 3921
A ↑	3921 ~ 4154

表 4. 官能基の吸収帯位置と音

グループ	吸収帯位置 (cm ⁻¹)	音
-NH ₃ ⁺	3100~2100	A# ~ E↑
-COO ⁻	1450~1400	D#
	1610~1550	F
-CH ₃	2885~2860	D# ↑
	2975~2920	E ↑
>CH ₂	2870~2845	D# ↑
	2940~2915	E ↑
$\begin{array}{c} \\ -\text{CH} \\ \end{array}$	3000~2840	D# ↑ ~ E ↑
C=O	1775~1650	F# ~ G ↑
-OH	3650~3200	F ↑ ~ G ↑
-SH	2600~2540	C# ↑
C-S	710~570	B ↓ ↓ ~ D# ↓
C=N	1725~1625	F ~ F#
-NH ₂	3500~3300	F# ↑ ~ G ↑
=NH ₂ ⁺	3000~2700	D ↑ ~ E ↑
C=NH ⁺	2700~2330	C ↑ ~ D ↑
=C-H (芳香族)	3100~3000	E ↑
N-H (五員環)	3500~3400	E ↑ ~ G ↑
	3400~3100	
C-O-C	1310~1000	A ↓ ~ D

まず, NH₃⁺, COO⁻ の音は α 炭素と結合している原子の原子番号の大きさを順に NH₃⁺ の音を①, COO⁻ の音を②とし, 残りの CH の音を③と決定した。次に, 側鎖の順位は図 1. に示した通り α 炭素と結合している原子団の音から順に決定した。

3. α-アミノ酸の官能基の波数から音への変換

ヒトの体をつくり, 動かしているタンパク質の原料は 20 種類の α-アミノ酸である。このうち, 体内合成できる非必須アミノ酸は, グリシン, アラニン, セリン, プロリン, アスパラギン酸, アスパラギン, グルタミン酸, グルタミン, アルギニン, システイン, チロシンの 11 種類であり, 合成できない必須アミノ酸は, トリプトファン, メチオニン, リシン, フェニルアラニン, ロイシン, イソロイシン, パリン, トレオニン, ヒスチジンの 9 種類である。

これら非必須アミノ酸と必須アミノ酸は構造的に大きな違いが見られない。しかし, 官能基の波数を音に変換すると違いが見られた。

まず, α-アミノ酸の官能基の波数^{12),13)}を表 3. を用いて音に変換した(表 4.)。

生体のたんぱく質を構成する主要な α-アミノ酸は α 炭素にカルボキシル基およびアミノ基が直接結合している。さらに, 残りの置換基 2 個のうち一つは, 必ず水素原子である。すなわち, 生物が使用するアミノ酸の中での変換部は側鎖のみである。しかし, 官能基の波数を音に変換するだけでは曲として聴くことができない。そこで α-アミノ酸の音階の順位を決定するために, 主構造である NH₃⁺, COO⁻, CH と側鎖の 2 つの構造に分けた。

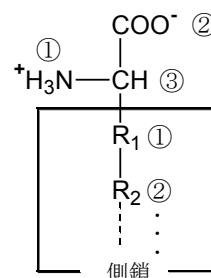


図 1. α-アミノ酸の音階順位

この順位に従って, 側鎖が H という最も簡単なアミノ酸であるグリシンの音階を並べた。

まず, IR スペクトルで測定し, 得られたチャートから官能基の伸縮振動の波数が以下のように観測された。

3100~2100 cm⁻¹: NH₃⁺ 伸縮振動が幅広くでる

1592 cm⁻¹: COO⁻ 逆対称伸縮振動

1413 cm⁻¹: COO⁻ 対称伸縮振動

次に, 表 3. と表 4. をもとにこれらの波数を音に変換した。まず, NH₃⁺ は 3100 cm⁻¹, 2600 cm⁻¹, 2100 cm⁻¹ に特徴的なピークが見られたので A#, C# ↑, E ↑ に変換した。さらに, COO⁻ は D# と F に変換し, CH は

表 5. アミノ酸側鎖の音階 (番号は音階を曲として聴く際の順位)

非必須アミノ酸	
グリシン	①D#↑
アラニン	①E↑
セリン	①D#↑②F↑
プロリン	①D#↑②D#↑③D#↑
アスパラギン酸	①D#↑②D#・F
アスパラギン	①D#↑②F#③F#↑
グルタミン酸	①D#↑②D#↑③D#・F
グルタミン	①D#↑②D#↑③F#④F#↑
アルギニン	①D#↑②D#↑③D#↑④F#↑⑤E#↑⑥F#↑
システイン	①D#↑②C#↑
チロシン	①D#↑②E#↑③E↑④E↑⑤F↑⑥E↑⑦E↑
必須アミノ酸	
トリプトファン	①D#↑②E↑③F#↑④E↑⑤E↑⑥E↑⑦E↑
メチオニン	①D#↑②D#↑③D#↑④D↓⑤E↑
リシン	①D#↑②D#↑③D#↑④D#↑⑤F#↑
フェニルアラニン	①D#↑②E↑③E↑④E↑⑤E↑⑥E↑
ロイシン	①D#↑②D#↑③E↑④E↑
イソロイシン	①D#↑②E↑③D#↑④E↑
バリン	①D#↑②E↑③E↑
トレオニン	①D#↑②E↑③E↑
ヒスチジン	①D#↑②F↑③E↑④D↑⑤E↑

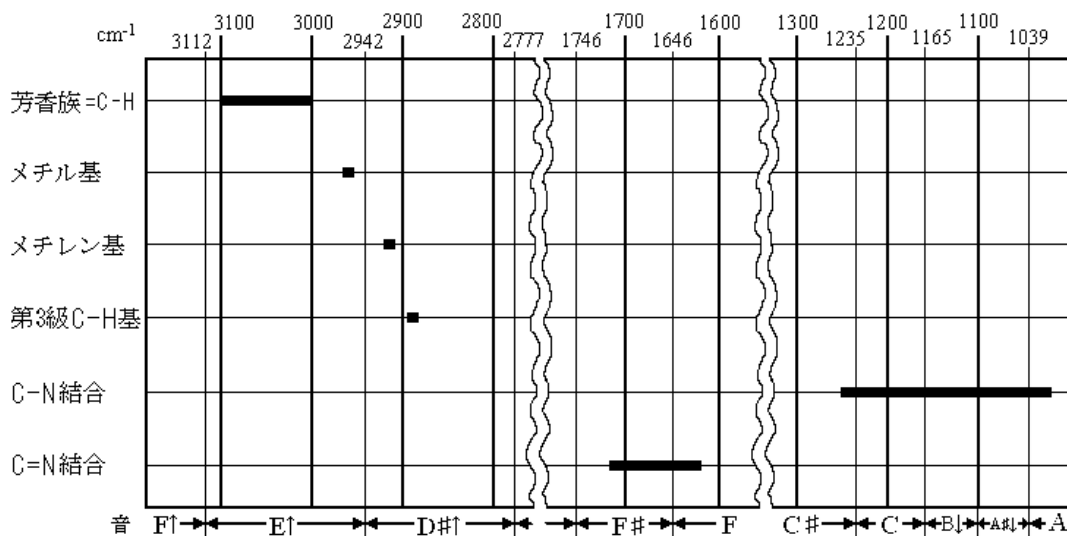


図 2. α -アミノ酸の C-H 結合がある官能基および C と N の結合の波数と音

D#↑に変換した。そして、上記の順位に従って、これらの音を並べると、①A#、C#↑、E↑、②D#、F、③D#↑となり、側鎖は①D#↑となった。同様に残りの α -アミノ酸も音階に変換し、決定した順位に従って並べた。そして、得られた非必須アミノ酸と必須アミノ酸の音階を、主構造の音階はみな同じであるので、側鎖の音階のみ表 5 にまとめ比較した。

まず、アラニンを除き、非必須アミノ酸と必須アミノ酸の両方に D#↑が必ずあった。また、必須アミノ酸は非必須アミノ酸と違い、リシンを除いて、E↑が必ずあるという結果が得られた。この E↑はメチル基および芳香族=C-H の振動を音階に変換したものである。 α -アミノ

酸の官能基で C-H 結合があるのは芳香族=C-H、メチル基、メチレン基、第三級 C-H 基の 4 つであり、これらの伸縮振動の波数は約 3100~2800 cm^{-1} の範囲に観測され、この範囲の波数を音に変換すると 2942 cm^{-1} (D#↑と E↑の波数の中央値)より高い波数は E↑、低い波数は D#↑になった。また、芳香族=C-H、メチル基、メチレン基、第三級 C-H 基はすべて C と H の結合で構成されているが波数はそれぞれ違った。この波数を音に変換すると芳香族=C-H およびメチル基は E↑となり、メチレン基および第三級 C-H 基は D#↑となった。これら 4 つの官能基および C と N の結合の波数と音階を図 2 に示した。

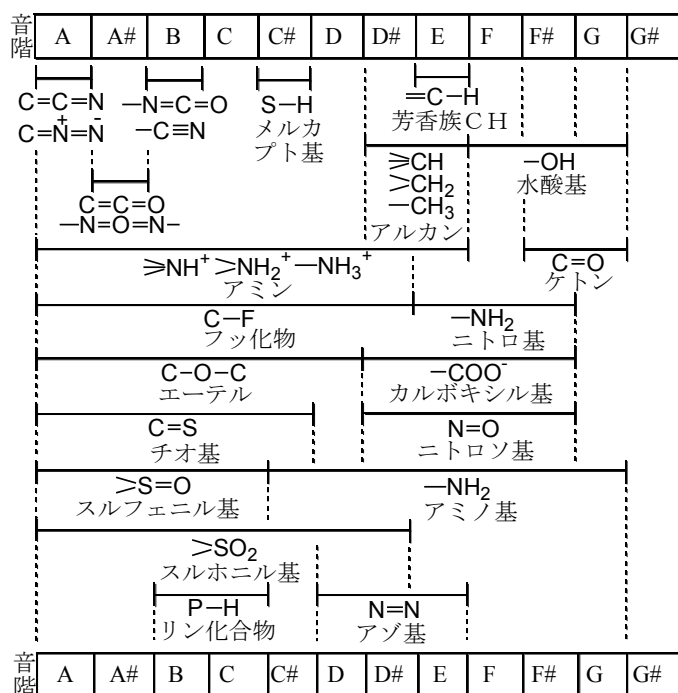


図 3. 官能基による音階の範囲

波数が高くなる条件には以下のものがある。まず、構成原子の質量が小さいことである。これより、C-H 結合は C-N 結合より構成原子の質量が小さいので C-H 結合の波数は C-N 結合より高くなった。次に、結合が強いことである。このことから、C と N の結合の波数は単結合より二重結合の方が高くなった。さらに、芳香族=C-H の波数は二重結合の影響で、 $3100\sim 3000\text{ cm}^{-1}$ という高波数域に観測された。一方、官能基の振動が逆対称伸縮振動であることも条件の一つである。分子の双極子モーメントに変化が生じる場合は生じない場合に比べ、高い波数で観測される。よって双極子モーメントに変化が生じる逆対称伸縮振動は生じない対称伸縮振動より波数が高くなる。また、双極子モーメントが大きいほうが波数は高くなる。これより、3 個の C-H 結合のうち 2 個が伸び、残りの 1 個が縮むメチル基の逆対称伸縮振動は、メチレン基の逆対称伸縮振動より双極子モーメントの変化が大きく、メチル基の波数はメチレン基より高くなった。

上記より、芳香族=C-H およびメチル基はメチレン基および第三級 C-H 基より波数が高いため、D# ↑ より波数の高い E ↑ になった。

メチル基がある必須アミノ酸は芳香族=C-H がなく、芳香族=C-H がある必須アミノ酸はメチル基がない。このことから、メチル基および芳香族=C-H の音である E ↑ が必須アミノ酸の構成に関係しているといえた。

4. A の音に変換される官能基

IR スペクトルによって同定された官能基を音階に対応させると図 3 に示したように、シャープな吸収帯が観測されるものはメルカプト基や芳香族 CH などが、

幅広い吸収帯が観測されるものはアミノ基やスルホニル基などがあつた。これらの官能基の中で、赤ん坊の産声の音 A に変換されるものを明らかにした。

まず、IR スペクトルで観測される範囲で音 A に変換される波数は $981\sim 1039\text{ cm}^{-1}$, $1961\sim 2077\text{ cm}^{-1}$ であり(表 3.), これらの波数が観測される官能基は図 3. の音 A の範囲に示すアミンやチオ基、スルフェニル基などであつた。次に、これらの官能基をみると N と S が多く含まれていた。

5. UV スペクトルから音階への変換

波数で観測される IR スペクトルだけではなく、波長で観測される UV スペクトルも音階に変換した。

5.1. UV スペクトル

電磁波吸収スペクトルのうち、もっとも波長の短い部分を利用するのが UV スペクトルで、波長にして $200\sim 400\text{ nm}$ の領域である。普通はそれよりさらに長波長側 $400\sim 800\text{ nm}$ の可視部と連続的につながっている。

紫外線、または可視線を分子に照射すると、その分子の基底状態にある σ , π および n 軌道上の電子が光エネルギーを吸収して、エネルギーの高い励起状態に移る。

一般的に観測できる 200 nm 以上の波長で励起できる電子は小さいエネルギーで基底状態から励起状態に移る π 電子、それも共役系に含まれるものに限られる。つまり、UV スペクトルは分子内のジエン($\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{C}$), エノン($\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{O}$), ベンゼン環などの共役系の構造を明らかにするのに用いられる^{14,15)}。まず、著者らは音の周波数(Hz)を波長(nm)に変換した。

表 6. 周波数と波長の対応

音	周波数 Hz ($\times 10^{-13}$)	波長 nm
E ↑	36.24	827.2
F ↑	38.40	780.8
F# ↑	40.68	736.9
G ↓	43.10	695.6
G# ↓	45.66	656.5
A ↓	48.38	619.7
A# ↓	51.26	584.9
B ↓	54.30	552.1
C	57.53	521.1
C#	60.96	491.8
D	64.58	464.2
D#	68.42	438.2
E	72.49	413.6
F	76.79	390.4
F#	81.36	368.5
G	86.20	347.8
G#	91.33	328.3
A	96.76	309.8
A#	102.5	292.4
B	108.6	276.0
C ↑	115.1	260.5
C# ↑	121.9	245.9
D ↑	129.2	232.1
D# ↑	136.8	219.1
E ↑	145.0	206.8
F ↑	153.6	195.2

表 7. 音と波長の範囲

音	波数 cm ⁻¹
E ↑	851.8~804.0
F ↑	804.0~758.9
F# ↑	758.9~716.3
G ↓	716.3~676.1
G# ↓	676.1~638.1
A ↓	638.1~602.3
A# ↓	602.3~568.5
B ↓	568.5~536.6
C	536.6~506.5
C#	506.5~478.0
D	478.0~451.2
D#	451.2~425.9
E	425.9~402.0
F	402.0~379.5
F#	379.5~358.2
G	358.2~338.1
G#	338.1~319.1
A	319.1~301.1
A#	301.1~284.2
B	284.2~268.3
C ↑	268.3~268.3
C# ↑	268.3~239.0
D ↑	239.0~225.6
D# ↑	225.6~213.0
E ↑	213.0~201.0
F ↑	201.0~189.7

5.2. 波長から音への変換

2章で示した式(2), (3)と同様に, 周波数(Hz)を波長(nm)に変換する式(6)を求めた。

$$\lambda \text{ (nm)} = 2.99792 \times 10^{17} \text{ (nm/s)} / \nu \text{ (Hz)} \quad (6)$$

この式(6)を用い, 440Hz より平均律で求めた基準となる1オクターブ分12音の周波数(Hz)を波長(nm)に変換した。

- C : $2.99792 \times 10^{17} / 261.63 \approx 1.146 \times 10^{15}$ (nm)
- C# : $2.99792 \times 10^{17} / 277.20 \approx 1.082 \times 10^{15}$ (nm)
- D : $2.99792 \times 10^{17} / 293.68 \approx 1.021 \times 10^{15}$ (nm)
- D# : $2.99792 \times 10^{17} / 311.13 \approx 9.636 \times 10^{14}$ (nm)
- E : $2.99792 \times 10^{17} / 329.63 \approx 9.095 \times 10^{14}$ (nm)
- F : $2.99792 \times 10^{17} / 349.22 \approx 8.585 \times 10^{14}$ (nm)
- F# : $2.99792 \times 10^{17} / 370.00 \approx 8.102 \times 10^{14}$ (nm)
- G : $2.99792 \times 10^{17} / 392.00 \approx 7.648 \times 10^{14}$ (nm)
- G# : $2.99792 \times 10^{17} / 415.31 \approx 7.219 \times 10^{14}$ (nm)
- A : $2.99792 \times 10^{17} / 440.00 \approx 6.813 \times 10^{14}$ (nm)
- A# : $2.99792 \times 10^{17} / 466.17 \approx 6.431 \times 10^{14}$ (nm)
- B : $2.99792 \times 10^{17} / 493.88 \approx 6.070 \times 10^{14}$ (nm)

しかし, ここで得た波長は非常に大きい数値であった。音は1オクターブ高くなると, 周波数が2倍になる。そして, 2倍の周波数 2ν を式(3)に代入すると, 式(7)のように波長は1/2倍になる。

$$\lambda / 2 = c / (2\nu) \quad (7)$$

このことから, 上記の波長に1/2の1~42乗を掛けた。その結果, 1/2の40~42乗を掛けた波長はUVスペクトルで観測される約200~800nmに対応する値となった。このように得られた波長の音階における周波数への対応は表6.に示した。表中の↑と↓は521.1nmのCから108.6nmのBまでの音階より高いか低いかを示したものである。この表6.より, 半音高い音との波長の中央値を求め, ここで得た数値より各音へ変換する波長の範囲を決定した(表7.)。

6. おわりに

本論文では, IRスペクトルで観測される波数を用い, α -アミノ酸の官能基の波数を音に変換し, 非必須アミノ酸と必須アミノ酸の違いを明らかにした。また, α -アミノ酸だけでなく他の化合物も, 表3., 表7.より, IRおよびUVスペクトルで観測される数値から音階に変換できるようになった。

7. 参考文献

- 1) Y. Murai, S. Kashimura, S. Tamezawa, T. Hashimoto, S. Takaoka, Y. Asakawa, K. Kiguchi, F. Murai and M. Tagawa, "Absolute Configuration of (6S, 9S)-Roseoside from Polygonum hydropiper," *Planta Medica*, 67, pp.480-481 (2001).
- 2) S.Tanimoto, M.Miyazawa, T.Inoue, Y.Okada, and

- M.Nomura, “Chemical Constituents of *Coreopsis lanceolata* L. and Their Physiological Activities” *J. Oleo Sci*, 58(3), pp.141-146 (2009).
- 3) S.Wu, Z.Zhao, Y.Okada, Y.Watanabe, T.Takahata, T.Inoue, E.Otsubo, J.Wang, Y.Lu, and M.Nomura, “Physiological Activity of Chinese Lichen(*Gyrophora esculenta*)Component,Methyl 2,4-Dihydroxy-6-methylbenzoate and the Related Compounds ,” *Asian J. Chemistry*, 26(3), pp.702-708 (2014).
 - 4) 中西 香爾, P.H. Solomon, 古館 信生, 赤外線吸収スペクトル (南江堂, 東京, 1960), pp.3-7.
 - 5) S. Ohno and M. Ohno, “The All Principle of Recurrence Governs Not Only Coding Sequence Construction But Also Human Endeavor in Musical Composition,” *Immunogenetics*, 24, pp.71-78 (1986).
 - 6) 大野 乾, 生命の誕生と進化 (東京大学出版会, 東京, 1988), pp.137-151.
 - 7) R.M. Silverstein, F.X. Webster, 有機化合物のスペクトルによる同定法 - MS,IR,NMR の併用 - (東京化学同人, 東京, 1965), pp.73-80.
 - 8) D.H. Williams and I. Fleming, 有機機器分析 - IR,UV,NMR,MS - (廣川書店, 東京, 1990), pp.42-43.
 - 9) W.R. Brode, “The Presentation of Absorption Spectra Data,” *Journal of the Optical society of America*, 39, pp.1022-1031 (1949).
 - 10) 下中邦彦, 音楽大事典 第4巻 (平凡社, 東京, 1982), p.2018.
 - 11) H.F. Olson, 音楽工学 (誠文堂新光社, 東京, 1969), pp.41-53.
 - 12) A.D. Cross and R.A. Jones, 赤外線吸収スペクトル入門 (東京化学同人, 東京, 1971), pp.95-118.
 - 13) E. Pretsch, T. Clerc, J. Seibl and W. Simon, 有機化合物スペクトルデータ集 (講談社, 東京, 1971), pp.182-233.
 - 14) J.R. Dyer, 有機化合物への吸収スペクトルの応用 (東京化学同人, 東京, 1968), pp.5-9.
 - 15) 高橋浩, スペクトル有機化学 (三共出版, 東京, 1978), pp.5-24.