

1年ものづくり基礎工学（情報工学分野）

J5.音の波形と分析

1. 今回の内容

デジタル信号処理の基本的な用語

- アナログ (Analog) とデジタル (Digital)
- 量子化とサンプリング

音の波形と特徴

- 周期, 周波数, 周期的
- 各自の音声の周波数

波形以外の表現

- スペクトル
- 波形からは読み取れない値の読み取り

2.概要 – (1) デジタル信号処理とは

どのようなことをするのか

- デジタル信号をコンピュータで処理する
- アナログの処理（回路）では困難な加工や分析をする

デジタル信号とは

- アナログ信号を **サンプリング** し、更に **量子化** したものの
- 自然界から得られる情報はほとんどアナログ
- コンピュータで処理するために必要

2.概要 – (1) デジタル信号処理とは (続き)

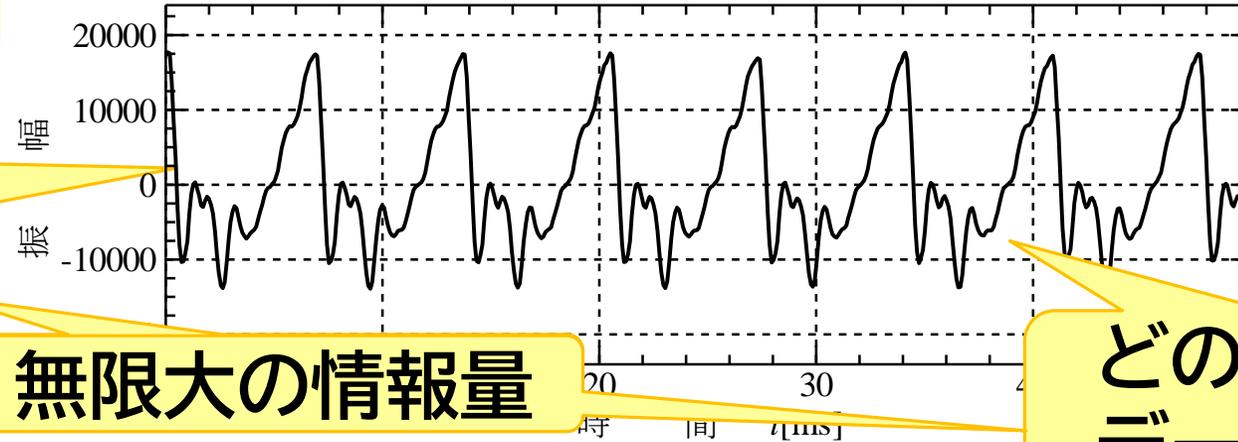
何ができるのか

- データの圧縮 : 携帯電話, 音楽配信 – 音声の圧縮
動画配信, DVD – 動画の圧縮
カメラ画像 – 静止画の圧縮
- 知的な処理 : 音声認識, 文字認識, 画像認識
- データの加工 : 雑音の除去, 特徴の強調

2. 概要 – (2) アナログ信号とデジタル信号

アナログ信号

どのような
大きさも取り得る

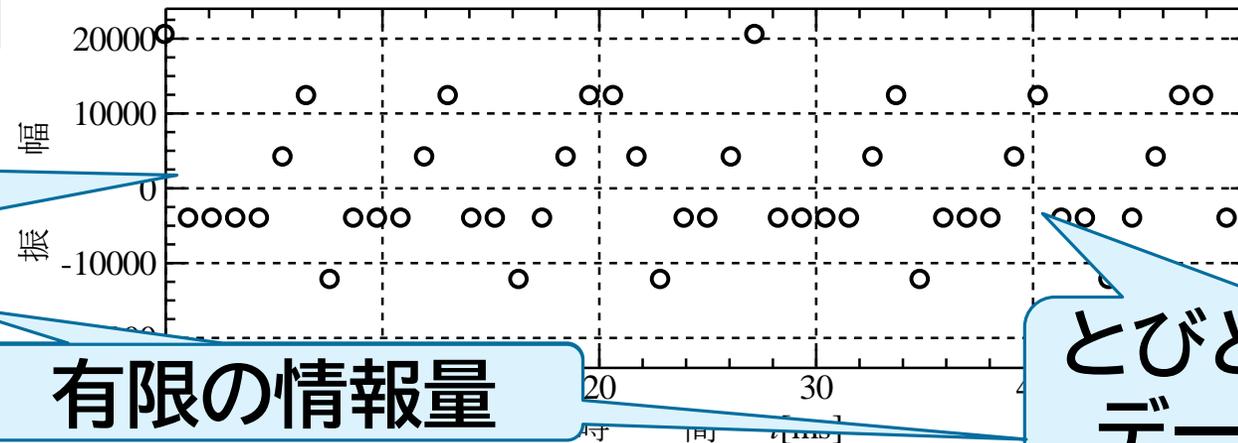


無限大の情報量

どの時点でも
データがある

デジタル信号

何種類かの
大きさしかない

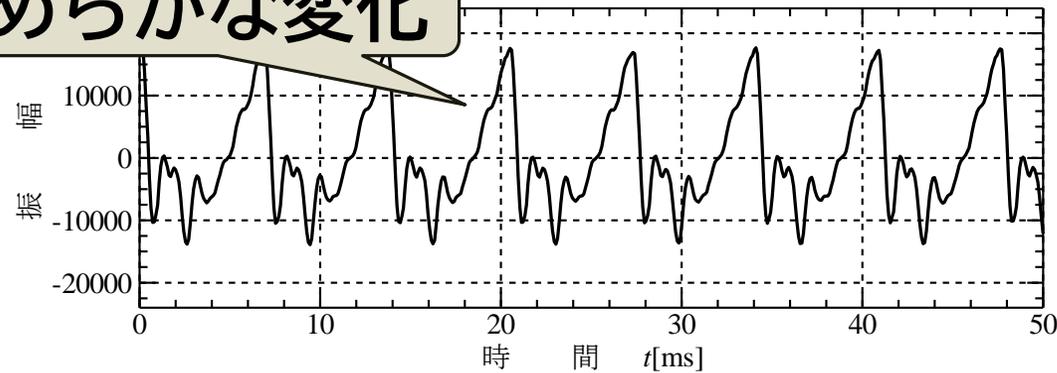


有限の情報量

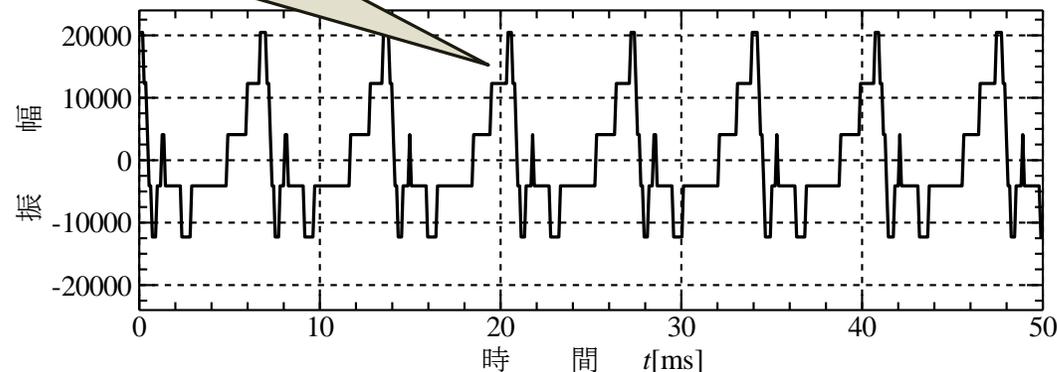
とびとびにしか
データがない

2. 概要 - (3) 量子化

なめらかな変化



階段状に近似



階段の段数は 2^n 個

コンピュータで
効率的に記憶
できる個数

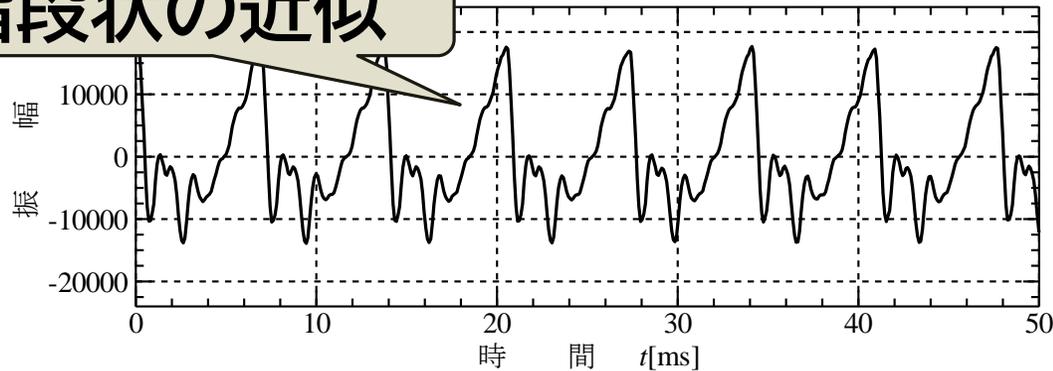
n は量子化の程度を表す
値として用いられる

量子化ビット数

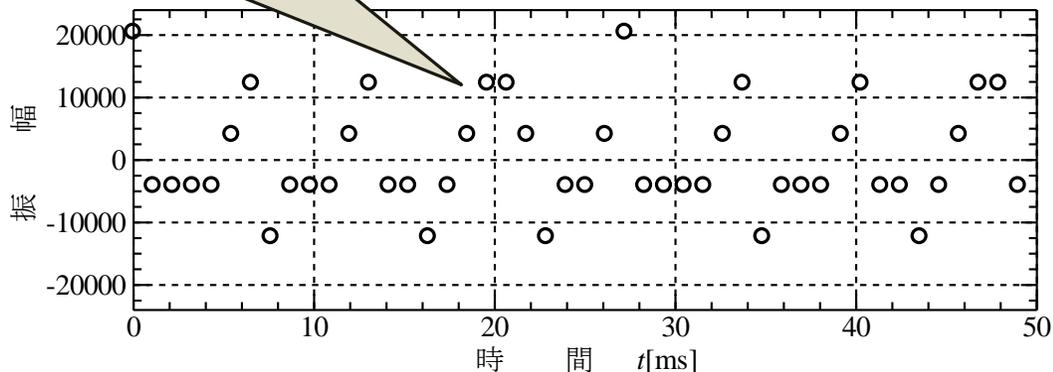
- $n=8$ または 16 が一般的
- 16 なら劣化は知覚されない

2. 概要 – (4) サンプリング

階段状の近似



一定の間隔で
取り出し



1秒間に取り出す
データ個数で程度を表す

サンプリング周波数

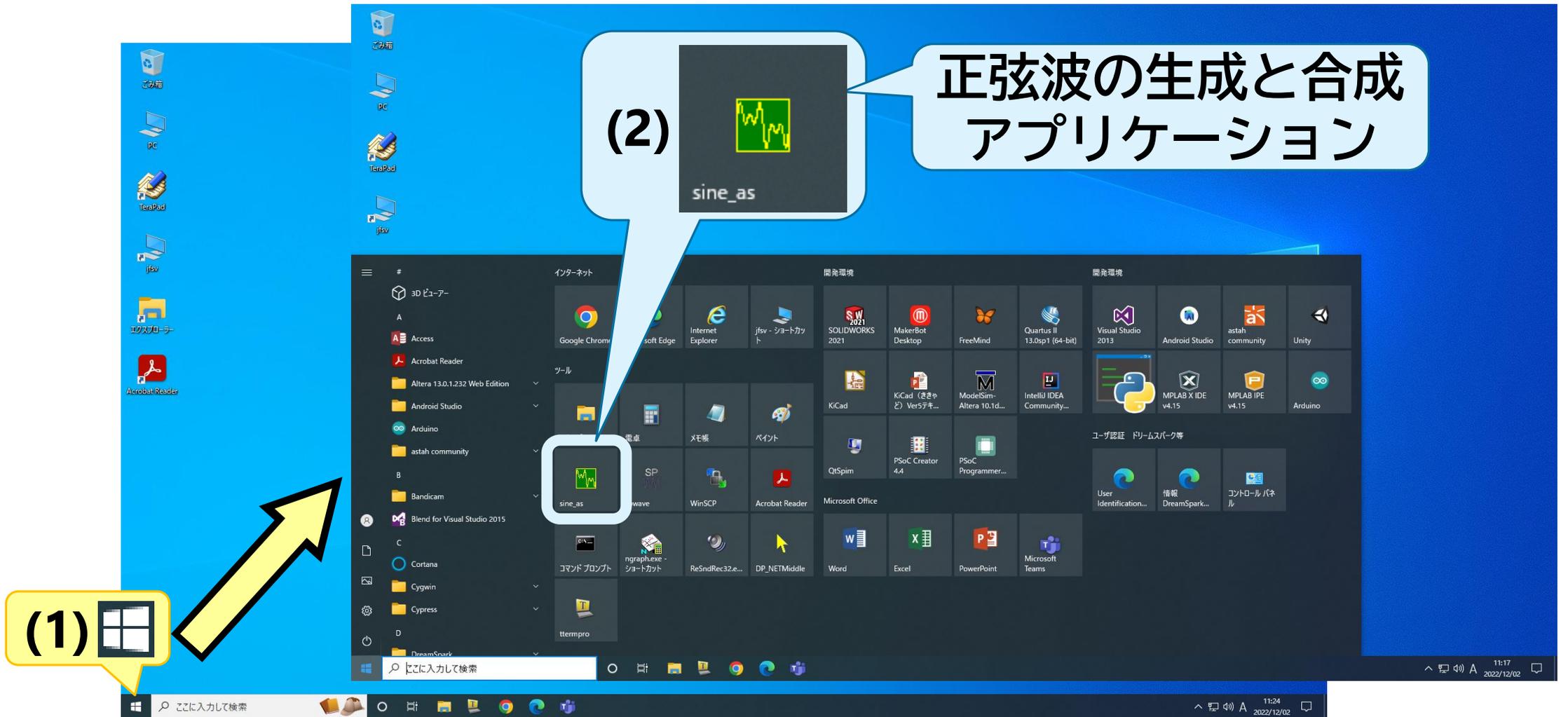
サンプリングにより必ず音質は低下

必要とする音質によって選択

音質の例

- 8 kHz : 携帯電話
- 32 kHz : FMラジオ並み
- 44.1 kHz : CD

3. 課題5.1 – (1) sine_asの起動



3. 課題5.1 – (2) いろいろな周波数の正弦波の生成

sine_as

(2) 値を入力

(3) 1

サンプリング周波数

(1) 44100

(4)

信号	周波数	単位	振幅(相対値)	調整	消音
信号 1	204.000	[Hz]	1.0000000	なし	<input type="checkbox"/>
信号 2		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 3		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 4		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 5		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 6		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 7		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 8		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 9		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 10		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 11		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 12		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 13		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 14		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 15		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 16		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 17		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 18		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 19		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 20		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>

出力の設定

サンプリング周波数 44100 [Hz]

量子化ビット数 16 [bit]

振幅 0.8000000 なし

継続時間 0.500 [s]

全消去 Hz

高調波 kHz

全消去 なし

全均等 %

dB

4. 課題5.2 – (1) 録音レベル調整画面の表示

The image shows a Windows 10 desktop with the Sound control panel open. The 'Recording' tab is selected, and the 'High Definition Audio Device' is highlighted. A green arrow points from the 'Properties' button to the 'Microphone Properties' window, where the 'Levels' tab is active. The 'Level' slider is set to 70. A yellow callout (1) points to the speaker icon in the system tray, and a blue callout (2) points to the 'Sound (S)' option in the context menu. Other callouts include (3) for the 'Recording' tab, (4) for the microphone device, (5) for the 'Properties' button, and (6) for the 'Level' slider.

サウンド

(3) 録音

マイクのプロパティ

(6) レベル

(4) マイク

(5) プロパティ

(2) サウンド(S)

(1) を右クリック

4. 課題5.2 – (2) 録音レベルの調整

(2) 実際に発声し、このメータが70%程度振れるように...

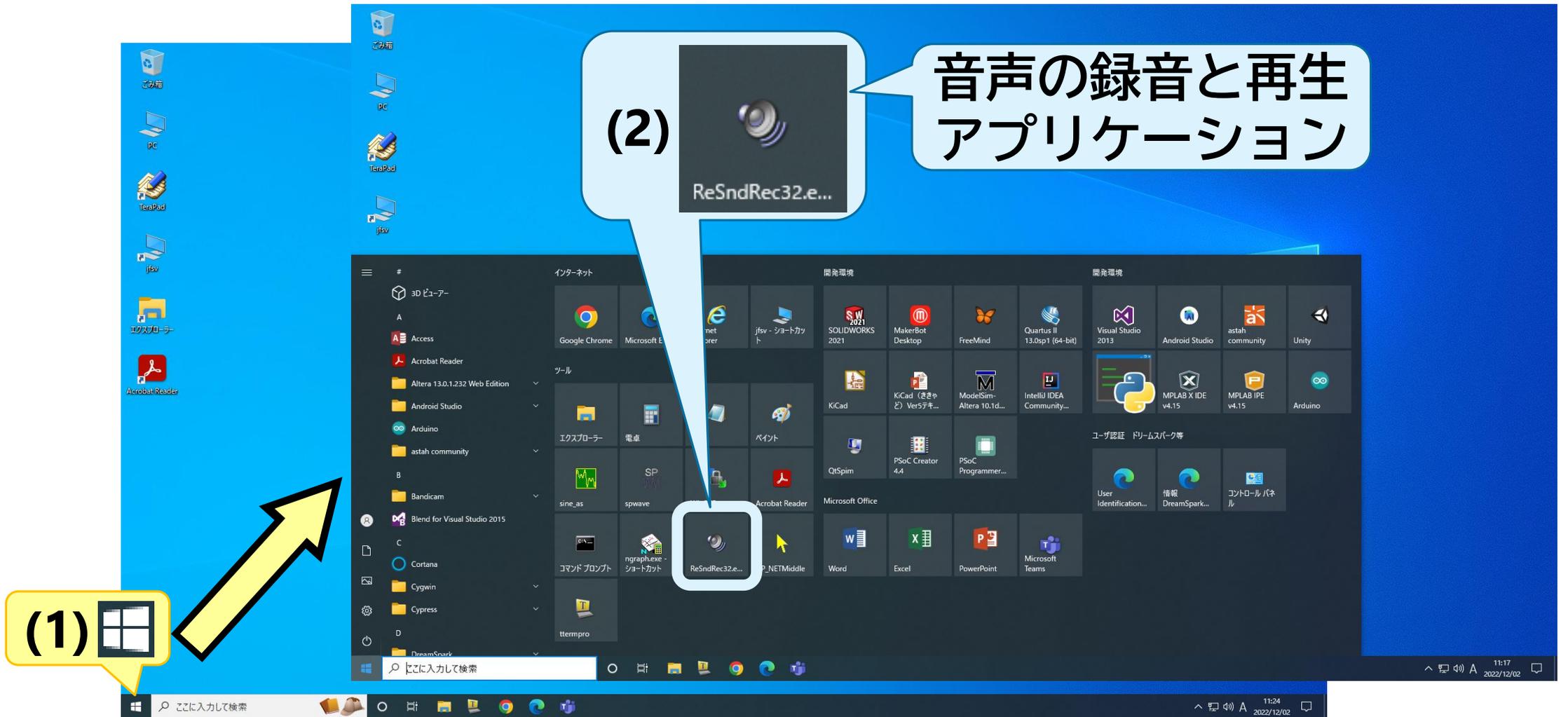
(1) +20.0 dB

(3) これらの値を調整する

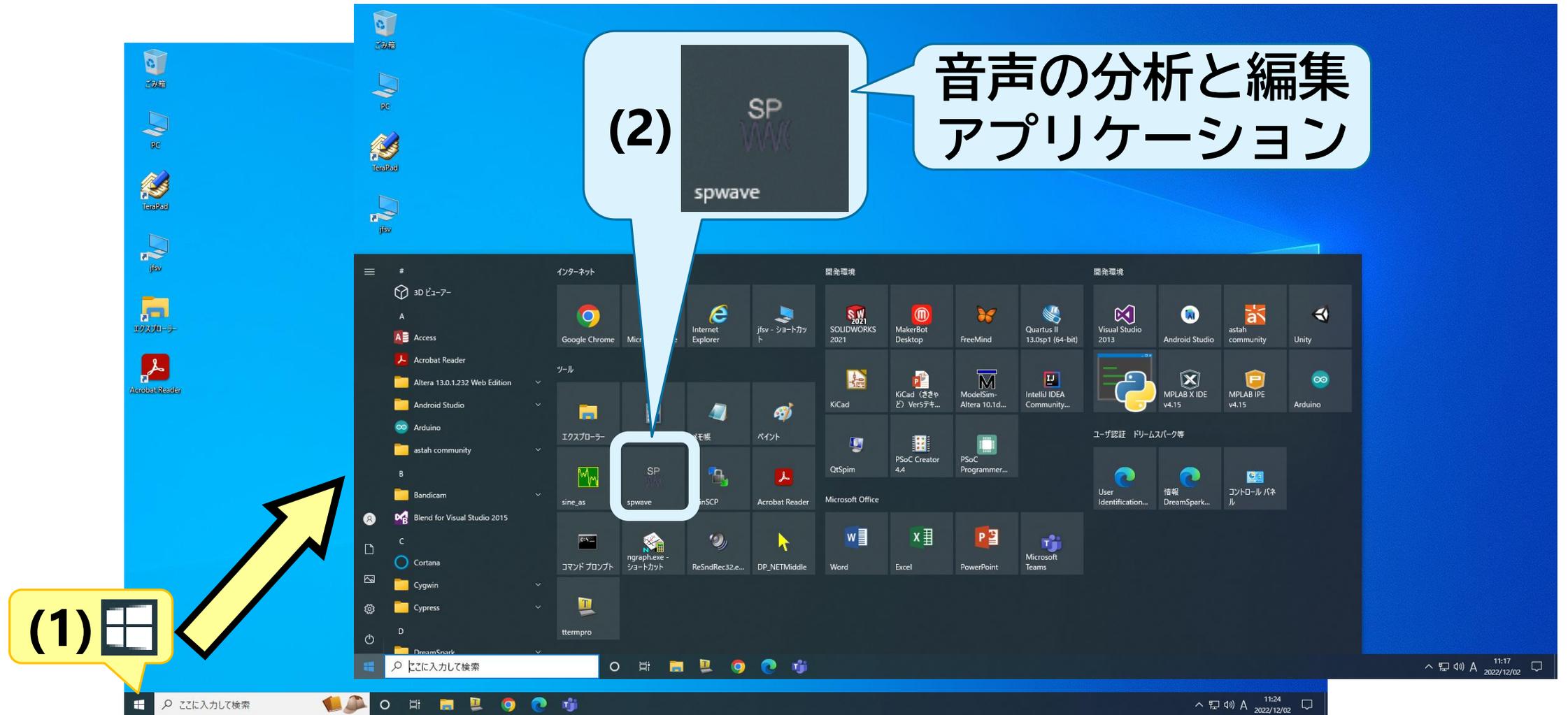
マイクロホンを近づけると大きく振れる

振り切れないようにする

4. 課題5.2 – (3) 帰ってきたサウンドレコーダーの起動



4. 課題5.2 – (4) spwaveの起動



4. 課題5.2 – (5) 録音準備完了～録音開始

サウンド

マイクのプロパティ

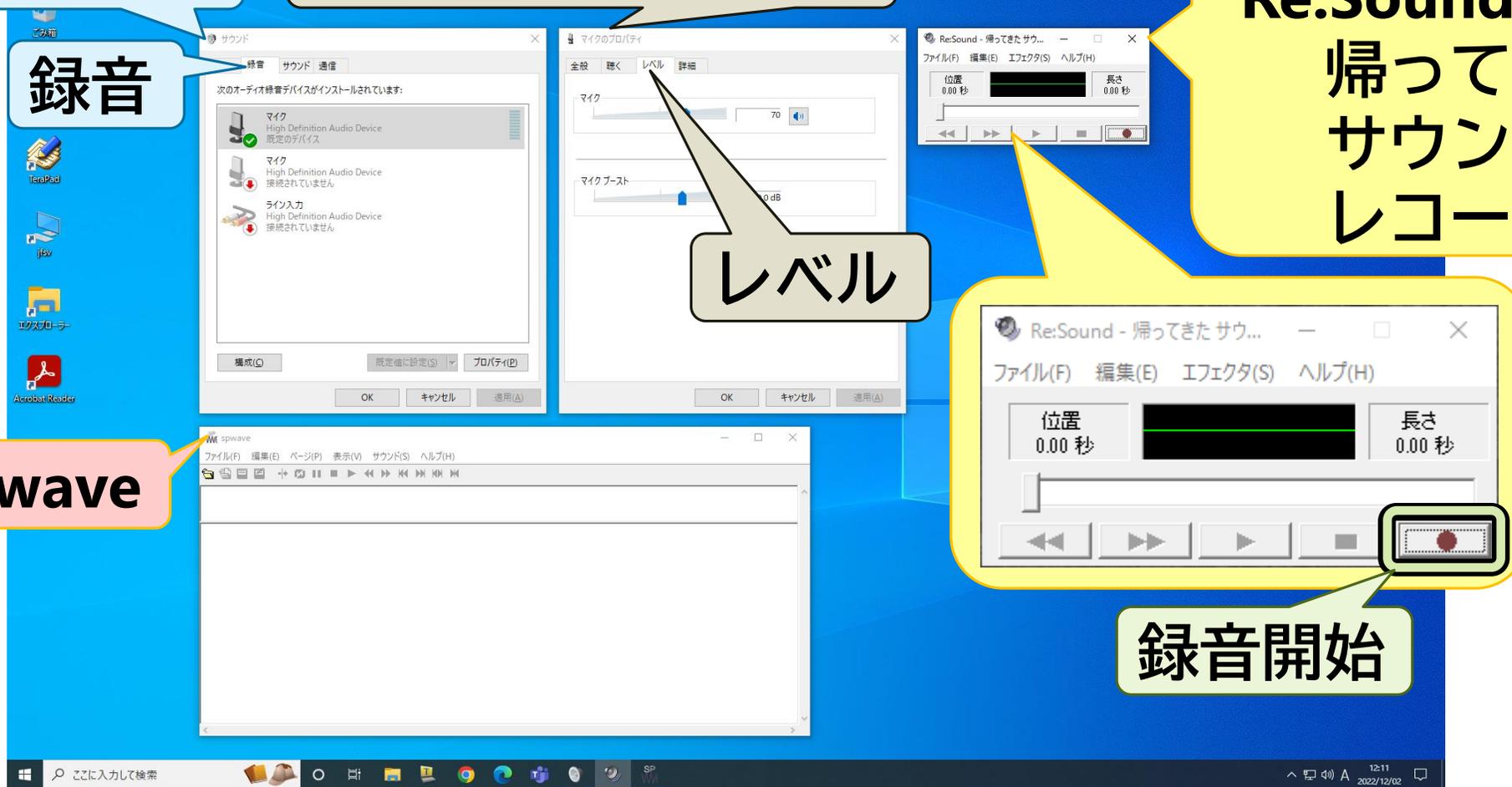
録音

Re:Sound –
帰ってきた
サウンド
レコーダー

レベル

spwave

録音開始



4. 課題5.2 – (6) 録音～録音停止

サウンド

マイクのプロパティ

録音

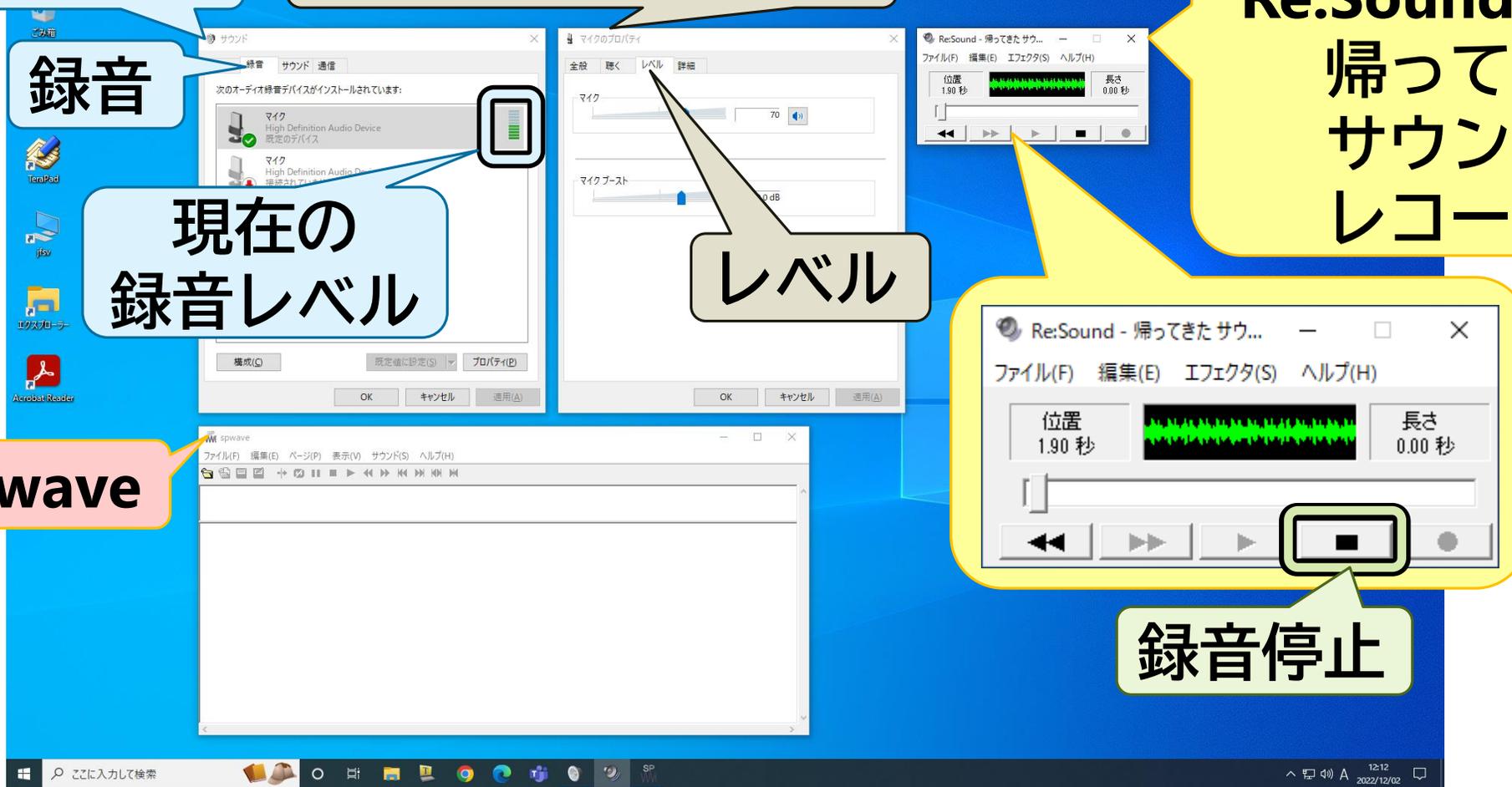
現在の録音レベル

レベル

Re:Sound –
帰ってきた
サウンド
レコーダー

spwave

録音停止



4. 課題5.2 – (7) 録音停止～保存

The image shows a Windows desktop with the ReSound application open. The application window has a menu bar with 'ファイル(F)', '編集(E)', 'エフェクタ(S)', and 'ヘルプ(H)'. A '名前を付けて保存(S)...' button is highlighted in the application. A callout box (1) points to the 'ファイル(F)' menu. Another callout box (2) points to the '名前を付けて保存(S)...' button. A third callout box (3) points to the Desktop folder in the file explorer. A fourth callout box (4) points to the filename '*****.wav' in the file explorer. A fifth callout box (5) points to the '保存(S)' button in the file explorer. A sixth callout box (6) points to the saved file icon on the desktop.

(1) ファイル(F)

(2) 名前を付けて保存(S)...

(3) わかりやすい場所 (例えばDesktop)

(4) ファイル名は *****.wav

(5) 保存(S)

(6) 保存したファイルのアイコン

4. 課題5.2 – (8) 現在の録音内容の削除～新たな録音

(1) 編集(E)

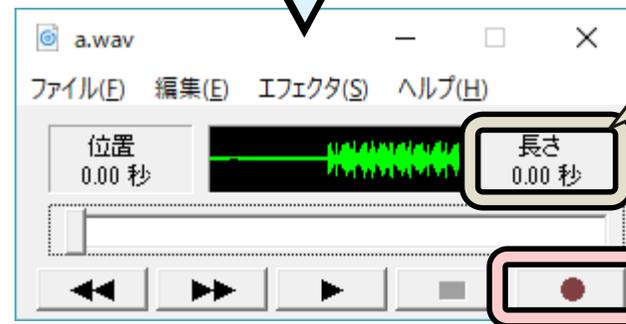
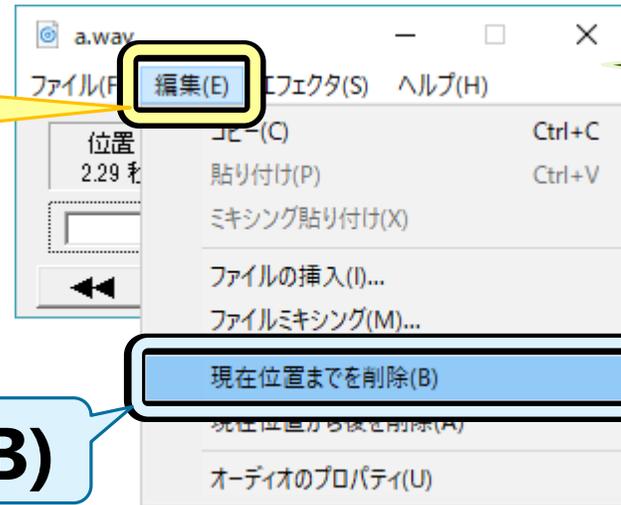
録音を終了した状態で...

(2) 現在位置までを削除(B)

帰ってきた
サウンドレコーダー

(3) 長さが0.00秒になる

(4) 新たに録音開始



4. 課題5.2 – (9) spwaveによる波形表示

(1) spwaveにドラッグ&ドロップ

から開いてもよい

spwave

見かけ上ステレオだが、実質的にモノラル

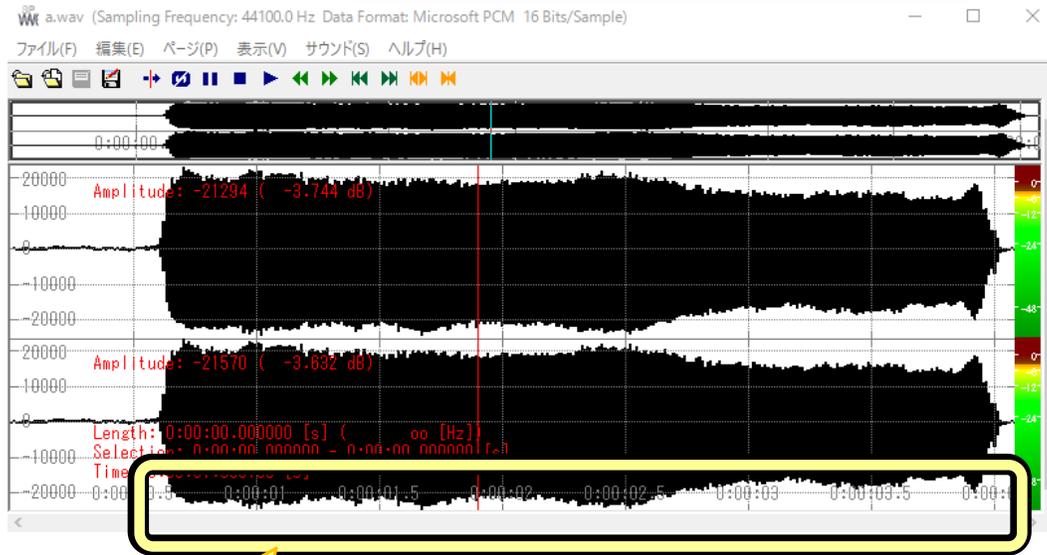
二つとも同じ

(2) 録音した音声の波形

4. 課題5.2 – (10) 録音した波形の振幅確認

spwave

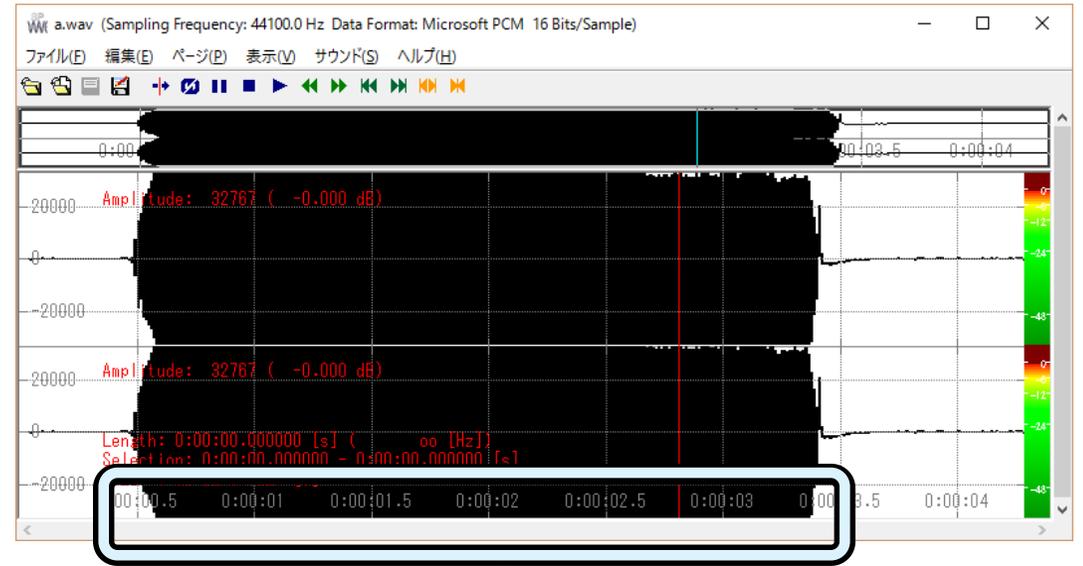
録音レベルが適切な場合



空白が見える

録音レベルを
小さくして
録音し直す

録音レベルが大きすぎる場合



空白が見えない

↓
最大の振幅を超えて録音された

4. 課題5.2

– (11) C (ハ長調のド) の高さを持つ正弦波の生成

sine_as

(3) 音階

幹音：C

派生：なし

オクターブ：

4または5

(1) 44100

(6)

(2) 純正律

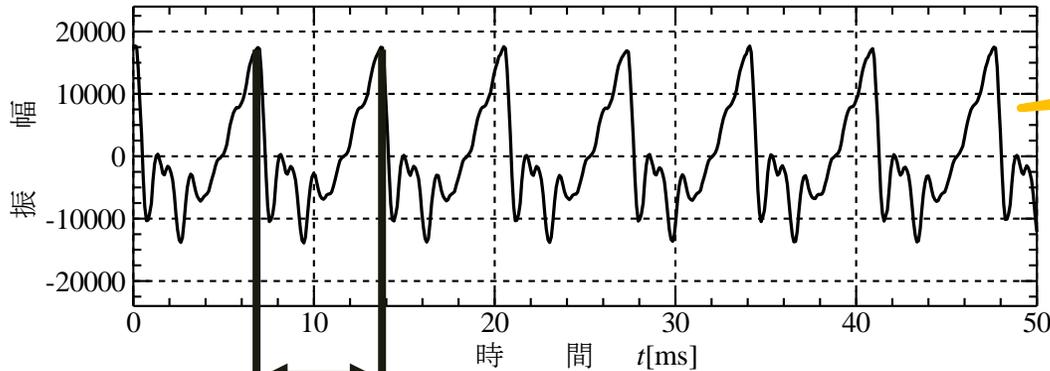
(4)

(5)

The screenshot shows the 'Synthesizer Sine' software interface. The '音階' (Scale) section is highlighted with a black box, showing '幹音' (Fundamental) set to C, '派生' (Derivative) set to 'なし' (None), and 'オクターブ' (Octave) set to 4. The '音律' (Tuning) section shows '純正律' (Just Intonation) selected. The '出力の設定' (Output Settings) section shows a sampling rate of 44100 Hz. The '振幅(相対値)' (Amplitude) table shows a value of 1.0000000 for the first signal. The '調整' (Adjust) and '消音' (Mute) columns are visible. The interface includes a play button, a stop button, and a 'ファイルに保存' (Save to File) button.

信号	周音	値	単位	振幅(相対値)	調整	消音
信号 1	→	264.000	[Hz]	1.0000000	なし	<input type="checkbox"/>
信号 2	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 3	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 4	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 5	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 6	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 7	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 8	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 12	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 13	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 14	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 15	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 16	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 17	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 18	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 19	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>
信号 20	→		[Hz]		なし	<input type="checkbox"/>

5. 課題5.4～5.5共通 - (1) 波形, 周期, 周波数



波形

音の大きさの時間的な変化

周期的

- 同じ大きさの変化を繰り返し返すこと
- 母音は周期的

声帯の
周期的な
振動による

同じ変化を
繰り返す間隔

周期

周波数

- 1秒当たりの繰り返し回数
- 音声の周波数

男声： 80～170 Hz, 平均125 Hz

女声： 180～320 Hz, 平均250 Hz

発話中の変化がアクセントやイントネーションを与える

5. 課題5.4～5.5共通 – (2) 周期の測定準備

spwave

(2) 時間軸の単位をミリ秒にする

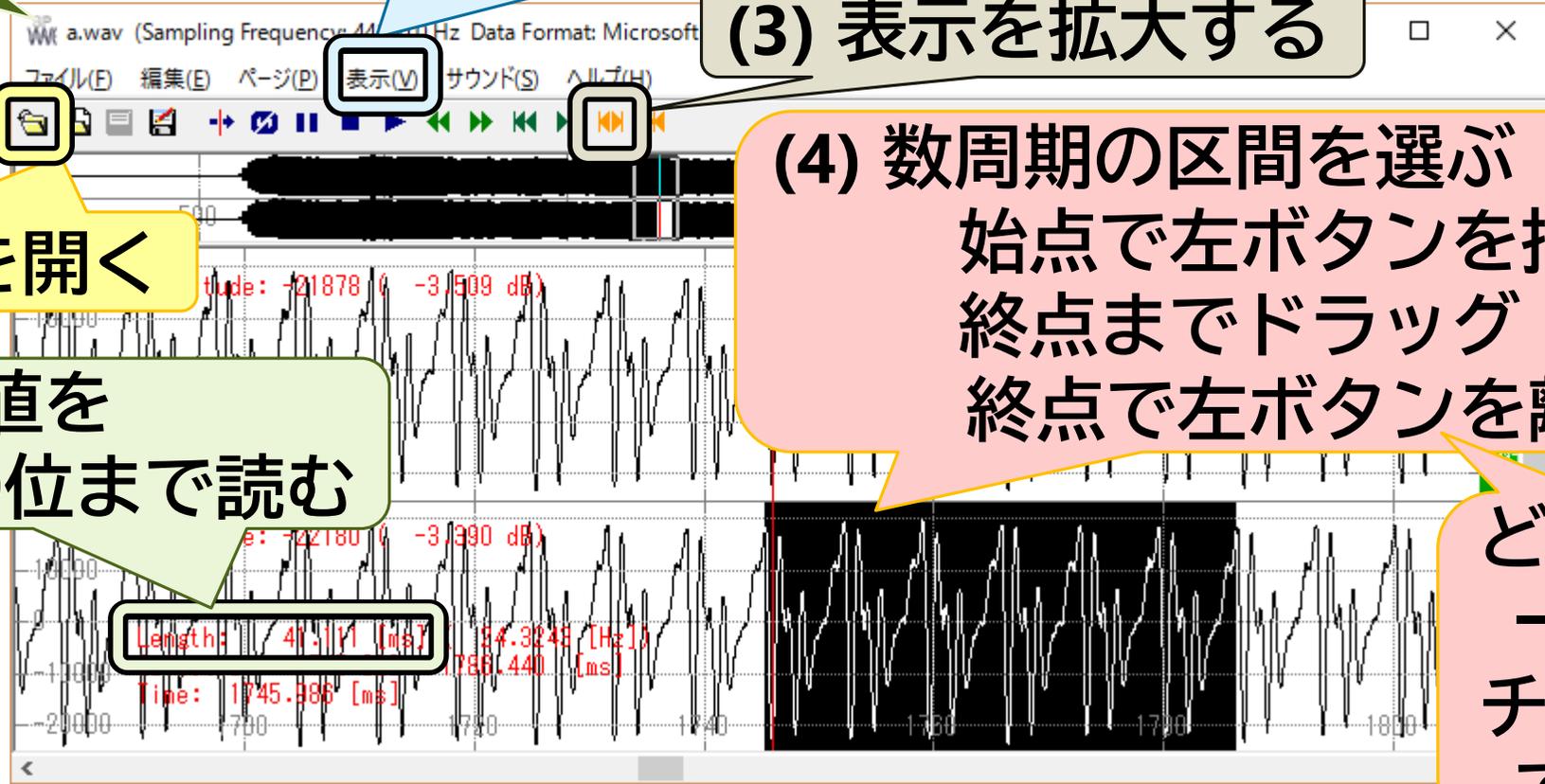
(3) 表示を拡大する

(1) ファイルを開く

(5) Lengthの値を
0.01 msの位まで読む

(4) 数周期の区間を選ぶ
始点で左ボタンを押す
終点までドラッグ
終点で左ボタンを離す

どちらか
一方の
チャンネル
でよい



5. 課題5.4～5.5共通 – (3) 周期と周波数の計算

周期 T

平均的な周期

有効数字の桁数は
Lengthの値に合わせる

$$T [\text{ms}] = \frac{\text{spwaveで読んだLengthの値}[\text{ms}]}{\text{spwaveで選択した周期の数}}$$

前のスライドの(5)

前のスライドの(4)

周波数 f

- 上記の平均的な周期から求める
- 有効数字の桁数は周期 T と同じになる

$$f [\text{Hz}] = \frac{1}{T[\text{s}]} = \frac{1}{T[\text{ms}] \times 10^{-3}}$$

単位に
注意

6. 課題5.5 – (1) Cの音の周波数

sine_as

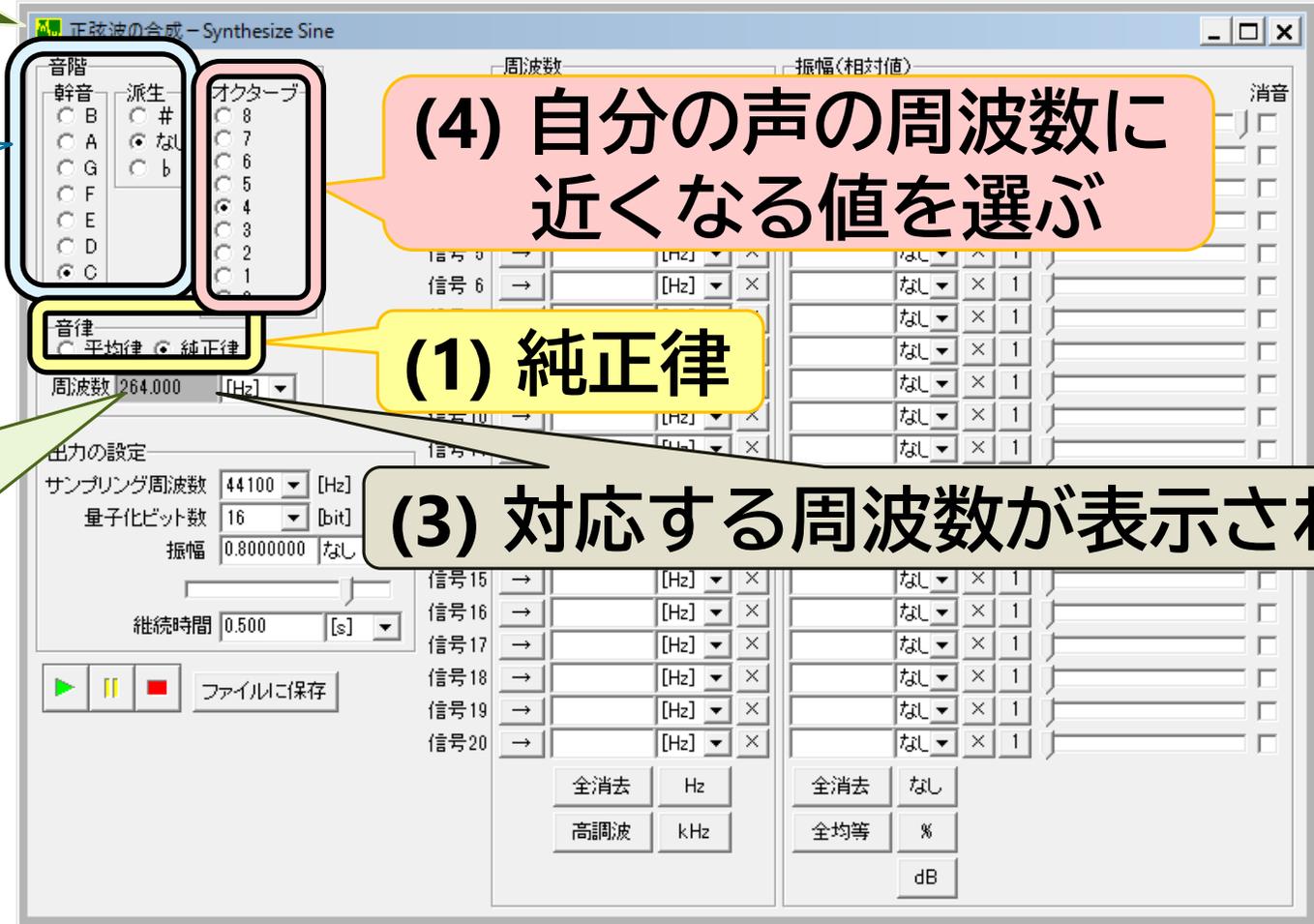
(2) 音階
幹音：C
派生：なし

(5) 周波数の値を
課題5.5(2)で
求めた周波数と
同じ位まで読む

(4) 自分の声の周波数に
近くなる値を選ぶ

(1) 純正律

(3) 対応する周波数が表示される



6. 課題5.5 – (2) 誤差の計算

誤差

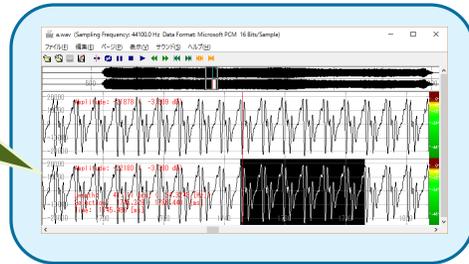
- 誤差[Hz] = 課題5.5(2)で計算した周波数

測定値

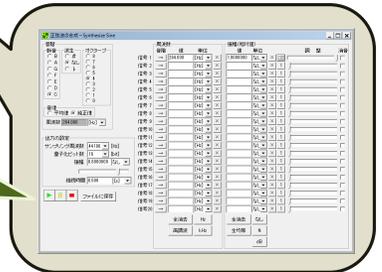
真の値

– 課題5.5(4)で求めた周波数

spwave



sine_as



有効数字の桁数

- 誤差の計算に用いる二つの値のうち、精度の低い方に合わせるものが原則である。
 - この課題では、(4)の周波数を(2)と同じ精度で求めているので、誤差もそれらと同じ位まで計算する。

6. 課題5.5 – (3) 誤差率の計算

誤差率

● 誤差率[%] =
$$\frac{\text{課題5.5(2)の周波数} - \text{課題5.5(4)の周波数}}{\text{課題5.5(4)の周波数}} \times 100$$

誤差 (課題5.5(2)の周波数 - 課題5.5(4)の周波数)
測定値 (課題5.5(2)の周波数)
真の値 (課題5.5(4)の周波数)

有効数字の桁数

- 誤差の有効数字の桁数に合わせる。
 - 真の値の精度が誤差より低いことはない

7. 課題5.6 – Cnの音の周波数

sine_as

(2) 音階

幹音：C

派生：なし

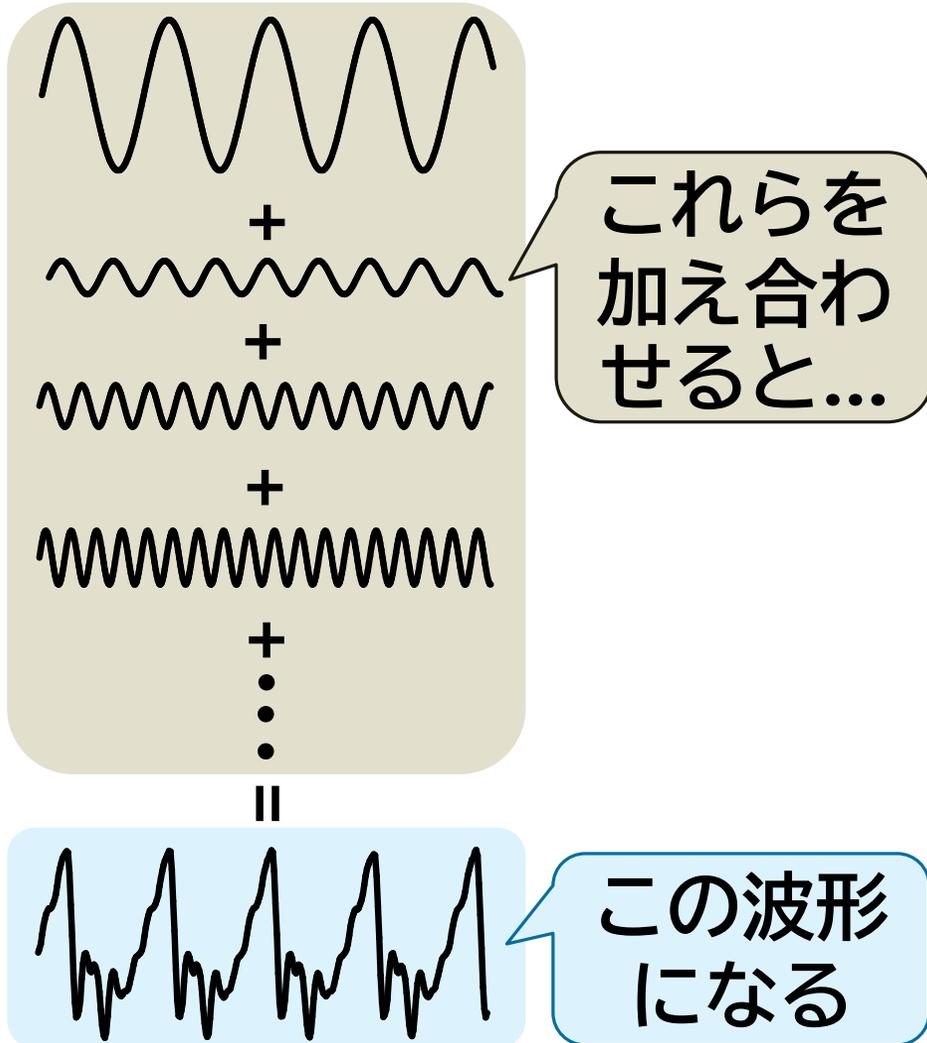
オクターブ：3～8

(3) 周波数の値を
0.1 Hzの位まで読む

(1) 純正律

信号	音階	値	単位	振幅(相対値)	調整	消音
信号 1	→	264.000	[Hz]	1.0000000	なし	<input type="checkbox"/>
信号 2	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 3	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 4	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 5	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 6	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 7	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 8	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 9	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 10	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 11	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 12	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 13	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 14	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 15	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 16	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 17	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 18	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 19	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>
信号 20	→		[Hz]	なし	× 1	<input type="checkbox"/>

7. 課題5.7 – (1) スペクトル



- あらゆる音はいろいろな大きさと周波数を持つ音の加え合わせで表せる。
- 加え合わされた音の周波数と大きさの組み合わせ表したものを **スペクトル** という。
- 音声や画像の圧縮, 音声認識などに利用される。

7. 課題5.7 – (2) 周波数分析の設定

spwave

(1) 編集(E)

The screenshot shows the 'spwave' application window. The 'Edit' menu is open, and the 'Analysis Settings' dialog box is displayed. The dialog box has two tabs: 'Parameters' and 'Actions'. The 'Parameters' tab is active, showing the following settings:

設定項目	設定値	単位
分析の種類	Spectrum	
分析窓の種類	Hamming	
最小のFFT長	256	points
最大のFFT長	65536	points
リフタ長	2.000000	ms

(2) 分析の設定(A)...

分析の設定(A)...

(3)

分析の種類

Spectrum

分析窓の種類

Hamming

最小のFFT長

256

最大のFFT長

65536

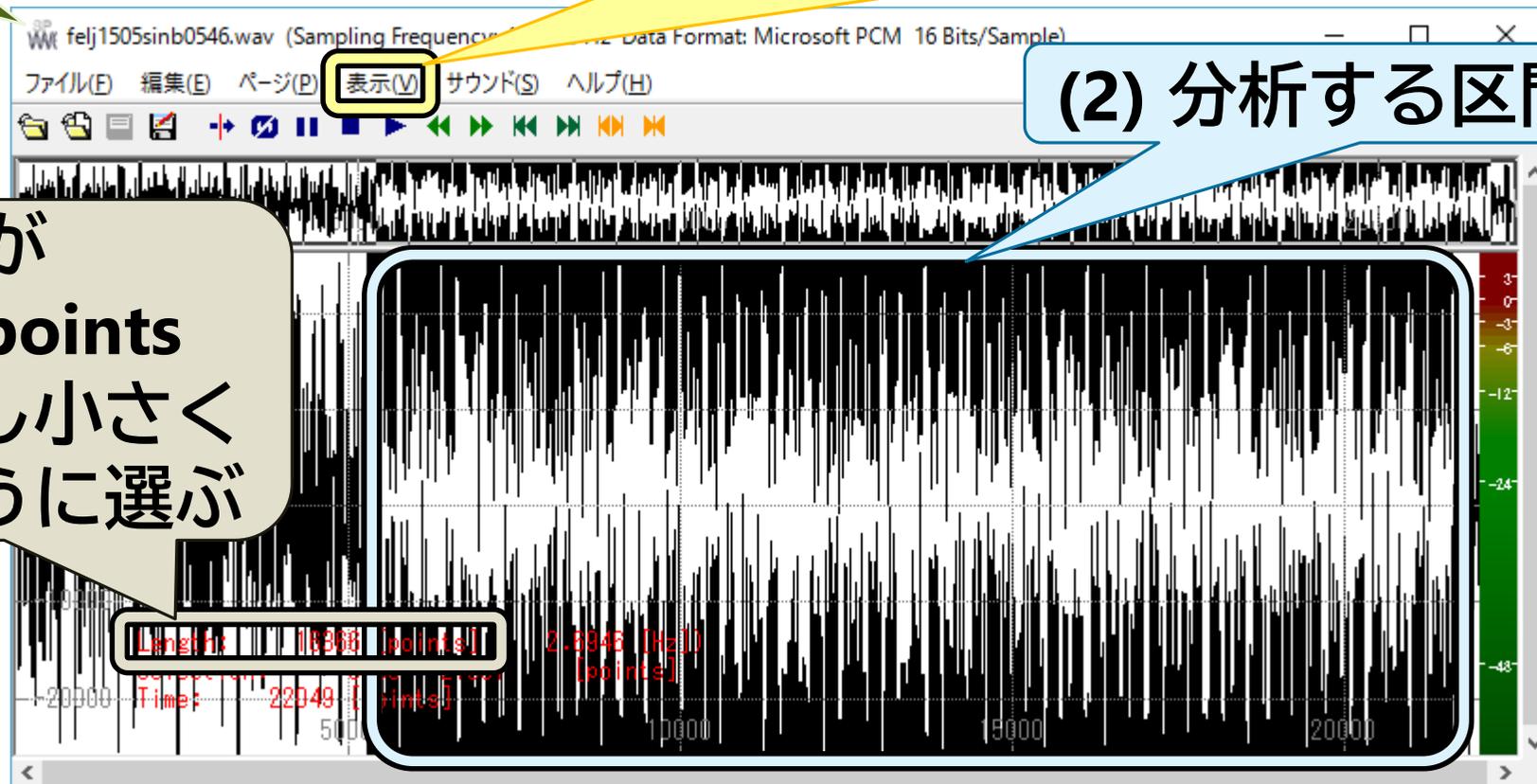
7. 課題5.7 – (2) スペクトル計算における分析範囲

spwave

(1) 時間軸の単位をポイントにする

(2) 分析する区間を選ぶ

(3) Lengthが
16384 points
より少し小さく
なるように選ぶ



分析範囲の長さが計算されたスペクトルの分解能に影響する

7. 課題5.7 – (3) 指定範囲の分析 (スペクトル計算)

spwave

felj1505sinb0546.wav (Sampling Frequency: 44100.0 Hz Data Format: Microsoft PCM 16 Bits/Sample)

ファイル(F) 編集(E) ページ(P) 表示(V) サウンド(S) ヘルプ(H)

指定範囲の再生(P) Shift+P
ウインドウの範囲を再生(W) Shift+W
波形全体を再生(t) Shift+E
処理を停止(S) Shift+S

拡大(I) Alt+I
縮小(O) Alt+O
全体の表示(F) Shift+F
指定範囲を拡大(B) Shift+B

同期(I) Alt+L
全部を同じ範囲に(R) Shift+A
ここから選択(m)
ここまで選択(o)

編集(E) >
ラベル(L) >

指定範囲の分析(M) Shift+N
広帯域分析(W)
狭帯域分析(N)

分析(A) >

Amplitude: 7688 (-12.593 dB)

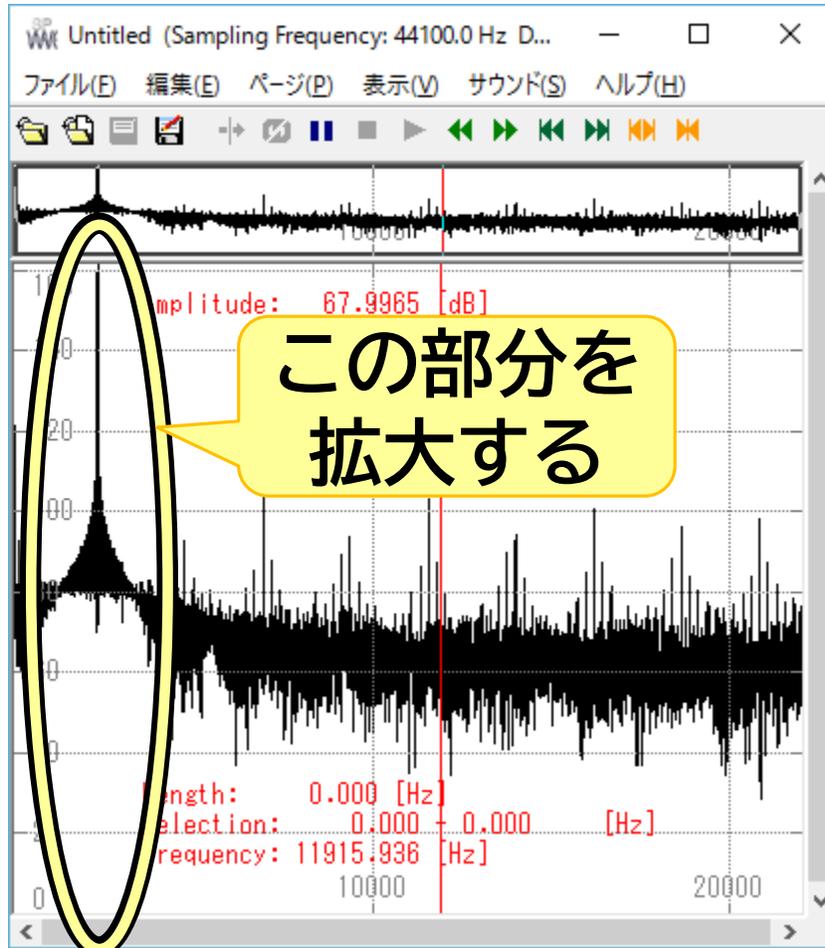
Length: 18968 [points] (2.6946 [Hz])
Selection: 5285 - 21651 [points]
Time: 18156 [points]

(2) 分析(A)

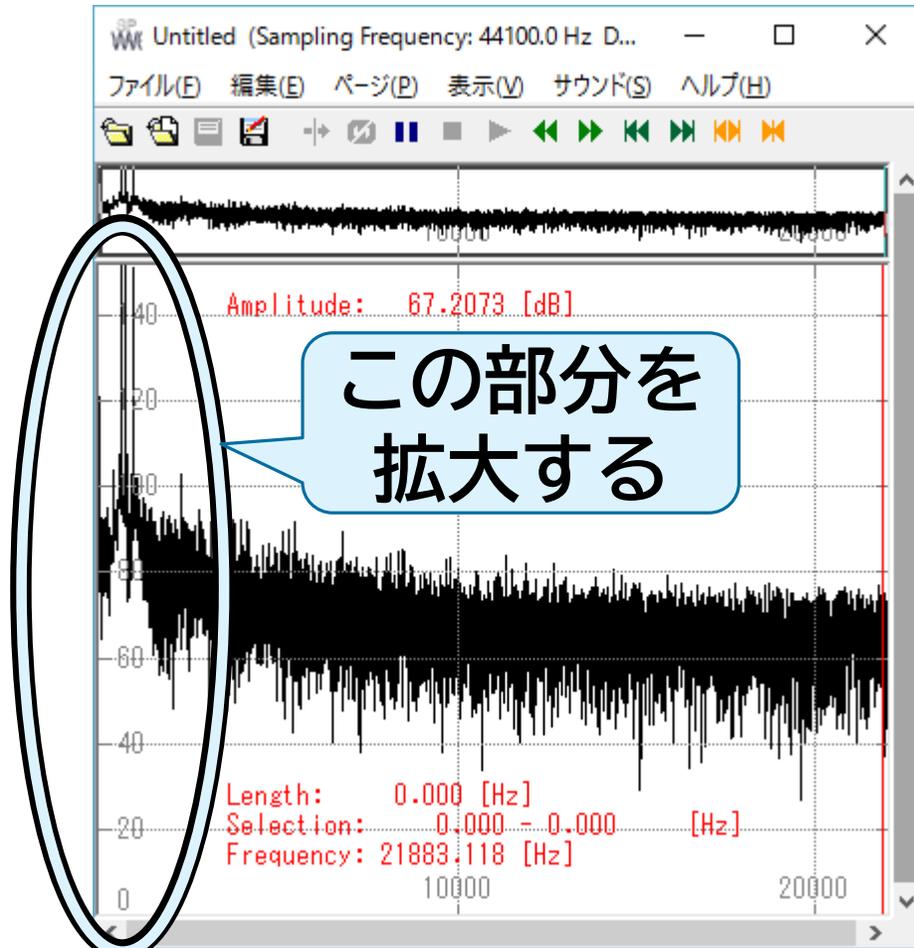
(3) 指定範囲の分析(M)

(1) 選択した範囲を
右クリック

7. 課題5.7 – (4) 音Aと音Bのスペクトルの比較

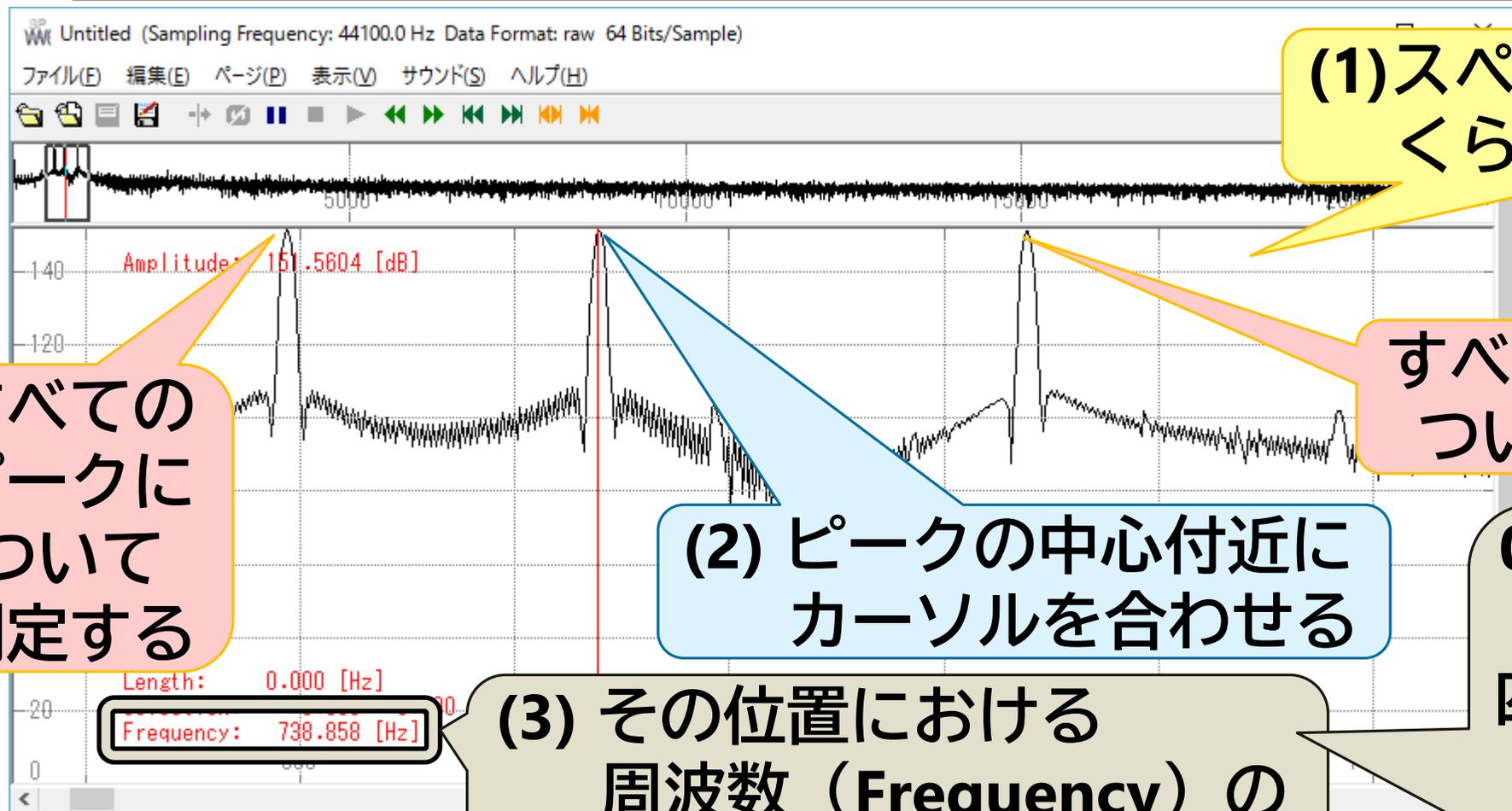


音Aのスペクトルの例



音Bのスペクトルの例

7. 課題5.7 – (5) 音Bを構成する音の周波数



(1) スペクトルをこのくらいまで拡大する

すべてのピークについて測定する

(2) ピークの中心付近にカーソルを合わせる

(3) その位置における周波数 (Frequency) の値を読む

0.01 Hzの位まで読んで四捨五入し、0.1 Hzの位まで求める

すべてのピークについて測定する

7. 課題5.7 – (6) 音名の表記

sine_as

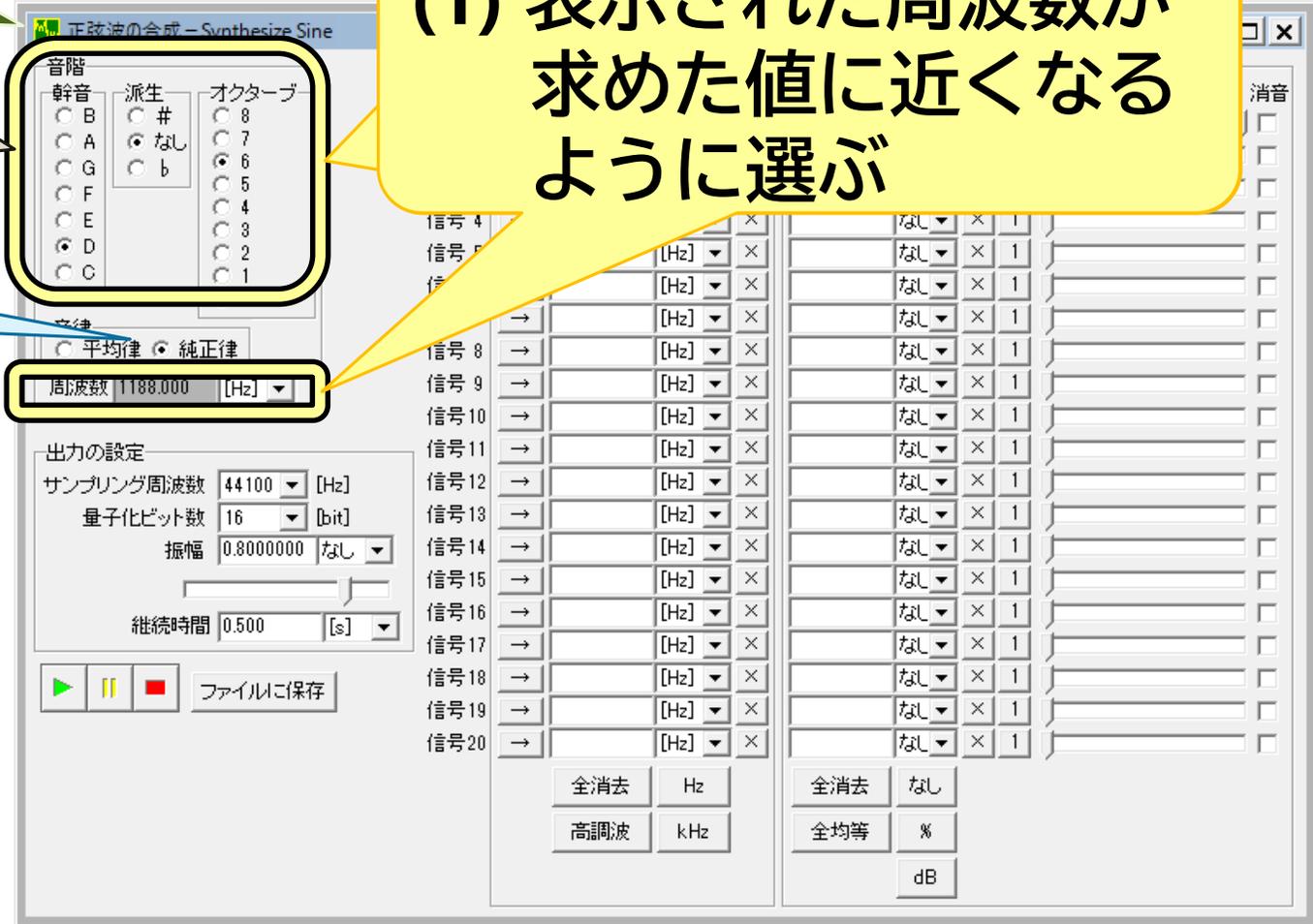
(3) この組み合わせなら
D6と表す

(2) 純正律

(1) 表示された周波数が
求めた値に近くなる
ように選ぶ

音名表記の例

幹音	派生	オクターブ	音名
G	#	4	G#4
B	b	3	Bb3
A	なし	5	A5

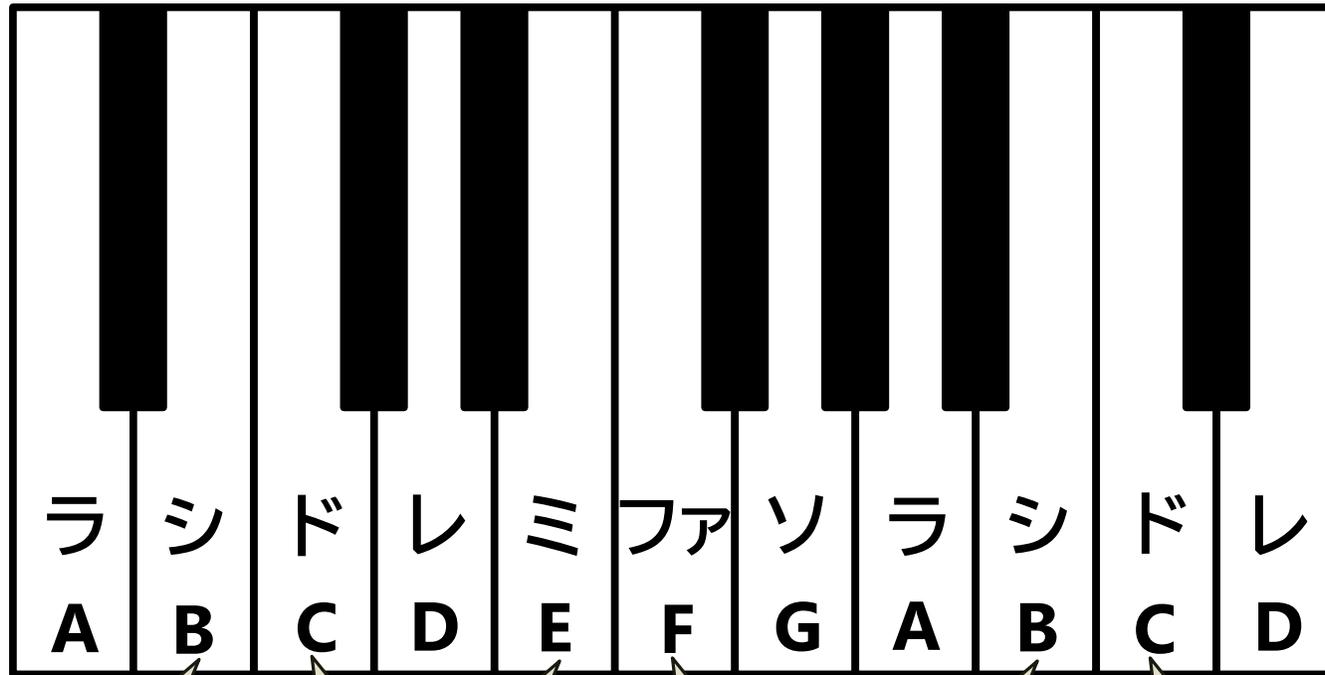


7. 課題5.7 – (7) 音名表記上の注意

白鍵で出す音は「#」や「b」を用いずに表す

ピアノの鍵盤

ハ長調の階名
音名



C \flat = B
B \sharp = C
F \flat = E
E \sharp = F
となる

C \flat B \sharp F \flat E \sharp C \flat B \sharp

用いない
表記