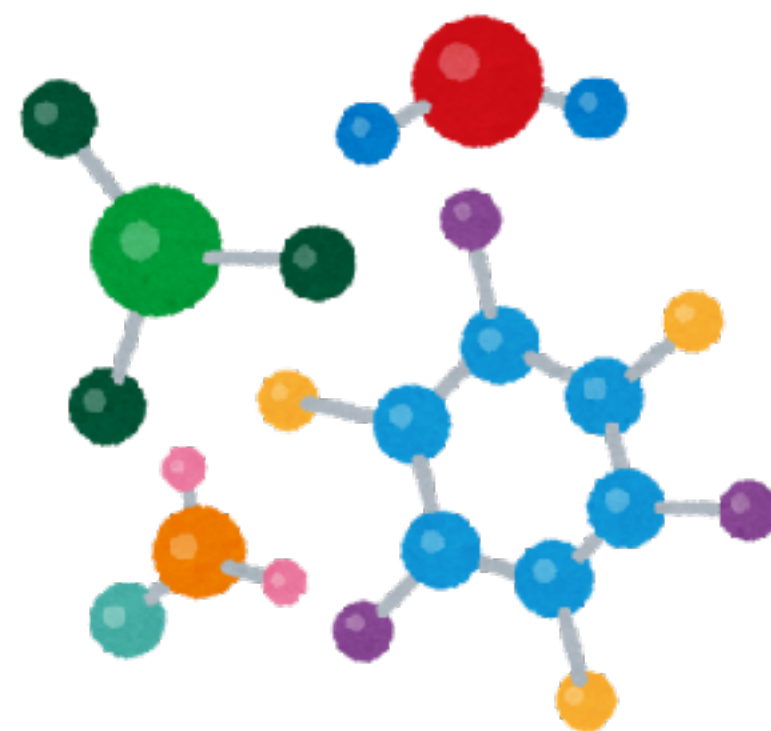


# 応用化学実験 1

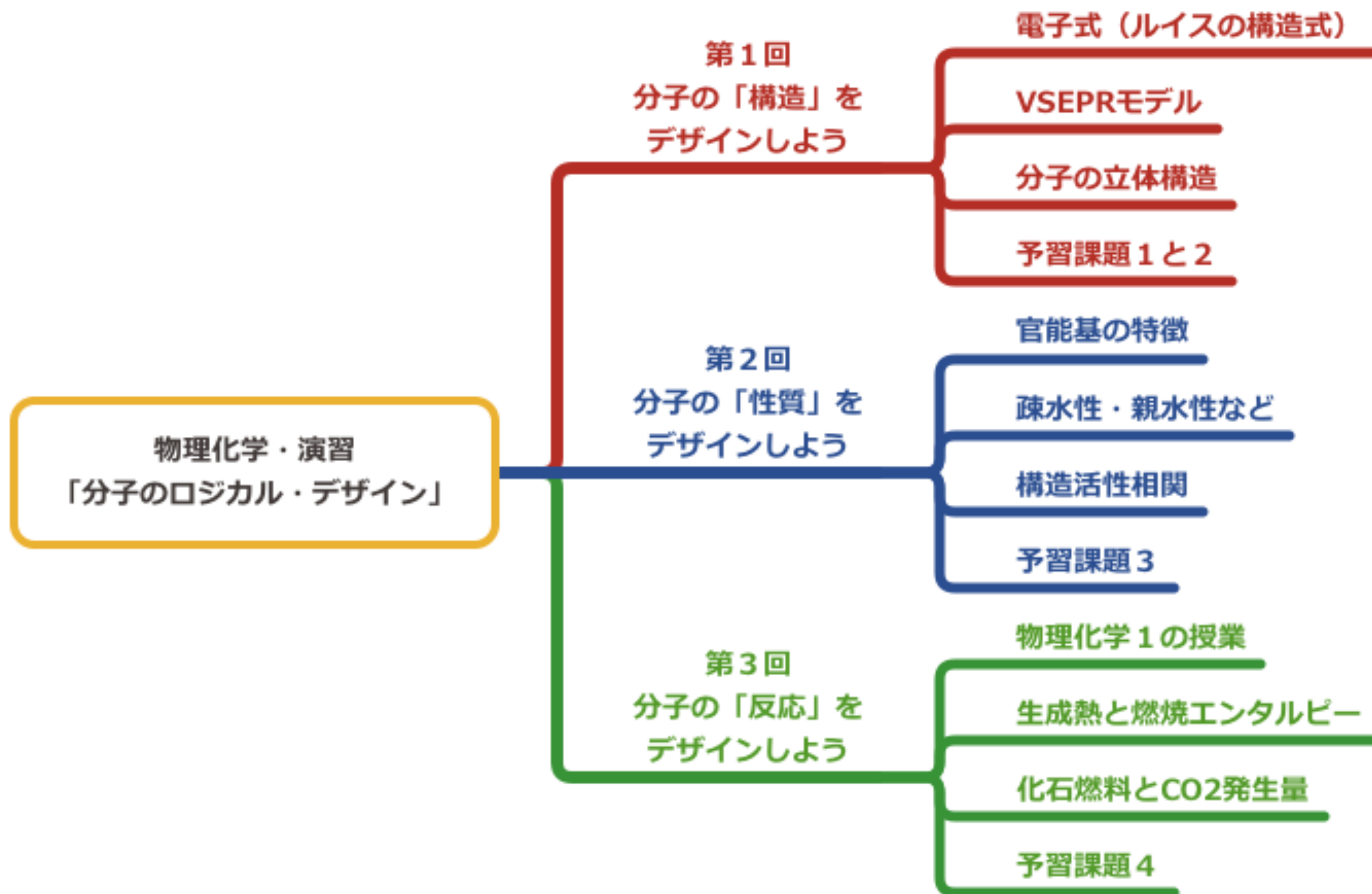
## 物理化学演習： 分子のロジカルデザイン

応用化学科 松澤秀則 (理論化学)

山本典史 (計算化学)



# この演習のスケジュールは？



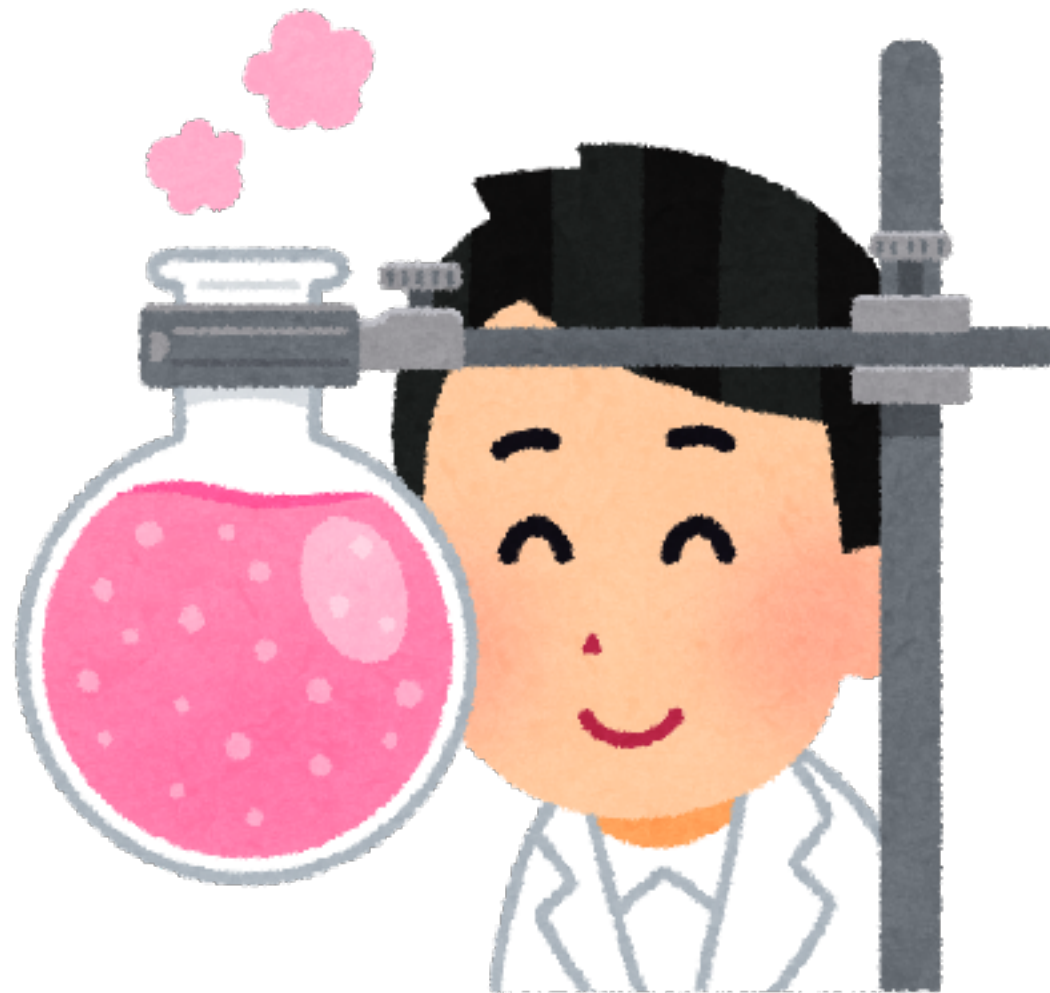
# 今回の到達目標

- オンラインの化学情報データベースを用いて、分子の熱力学量を調べることができる
- 分子を文字列化する SMILES 記法 について、読み解く・記述することができるようになる
- 量子化学計算 を用いて、分子の振動状態 や生成エンタルピー を予測できるようになる
- 化石燃料 が燃焼したときの 二酸化炭素の発生量を理論的に予測できるようになる
- 気候変動の問題 について、科学的根拠 に基づき、ロジカルに考える ことができるようになる

分子の 反応 を予測する

分子の反応 を予測するときに重要な物理量は？

化学反応に伴う「エンタルピー変化」が分かると、  
反応が起こる条件 や 反応を促進する方法 などを  
定量的に予測することができる



# 標準モル生成エンタルピーとは？

標準状態の元素から 1 mol の分子を生成するときの  
エンタルピー変化を

標準モル生成 (formation) エンタルピー ( $\Delta_f H^\circ$ )

と呼ぶ。同様に、1 mol の分子を燃焼したり、反応したり  
するときのエンタルピー変化を

標準モル反応 (reaction) エンタルピー ( $\Delta_r H^\circ$ )

標準モル燃焼 (combustion) エンタルピー ( $\Delta_c H^\circ$ )

と呼ぶ。

標準モル生成エンタルピーを調べるには？

アメリカ国立標準技術研究所（NIST）が提供する  
化学情報データベースで調べることができる

➡ NIST Chemistry WebBook

<https://webbook.nist.gov/chemistry/>





# NIST Chemistry WebBook

## NIST Standard Reference Database Number 69

Last update to data: 2018

DOI: <https://doi.org/10.18434/T4D303>

View: [Search Options](#), [Models and Tools](#), [Special Data Collections](#), [Documentation](#), [Changes](#), [Notes](#)

### ► Credits

NIST reserves the right to charge for access to this database in the future.

NIST recently released a new version of the [NIST Inorganic Crystal Structure Database \(ICSD\)](#). For more information visit [the ICSD web site](#).

### Search Options ▲

#### General Searches

- **Formula**
- Name
- IUPAC identifier
- CAS registry number
- Reaction

#### Physical Property Based Searches

- [Vibrational and electronic energies](#)
- [Molecular weight](#)

**Formula**



# Search for Species Data by Chemical Formula

Please follow the steps below to conduct your search ([Help](#)):

1. Enter the desired chemical formula (e.g., C<sub>4</sub>H<sup>+</sup>C):
2. Select any desired options for the search:
  - ☐ Exactly match the specified isotopes. ([Help](#))
  - ☐ Allow elements not specified in formula. ([Help](#))
  - ☐ Allow more atoms of elements in formula than specified. ([Help](#))
  - ☒ Exclude ions from the search. ([Help](#))

3. Select the desired units for thermodynamic data:

☒ SI ☐ calorie-based

4. Select the desired type(s) of data:

## Thermodynamic Data

- ☐ Gas phase
- ☐ Condensed phase
- ☐ Phase change
- ☐ Reaction
- ☐ Ion energetics
- ☐ Ion cluster

## Other Data

- ☐ IR spectrum
- ☐ THz IR spectrum
- ☐ Mass spectrum
- ☐ UV/Vis spectrum
- ☐ Gas Chromatography
- ☐ Vibrational & electronic energy levels
- ☐ Constants of diatomic molecules

5. Press here to search:

**Search**

← **C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>**



# Search Results

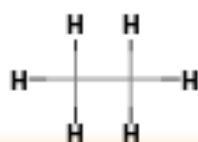
8 matching species were found.

For each matching species the following will be displayed:

- Chemical name
- Chemical formula
- Structure image (if available)

Click on the name to see more data.

1. [Ethane](#) (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)



2. [Ethane-1,1,1-d3](#) (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>D<sub>3</sub>)

3. [Ethane-d6](#) (C<sub>2</sub>D<sub>6</sub>)

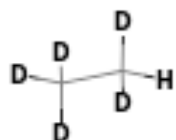
4. [Ethane-d1](#) (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>D)



5. [1-Ethenyl-1-methyl-2,4-bis-\(1-methylethenyl\)-1S-1α,2β,4α-cyclohexane](#) (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)

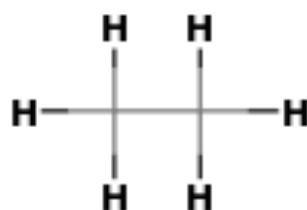


6. [pentadeuteroethane](#) (C<sub>2</sub>HD<sub>5</sub>)



# Ethane

- **Formula:** C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>
- **Molecular weight:** 30.0690
- **IUPAC Standard InChI:**
  - InChI=1S/C2H6/c1-2/h1-2H3
  - [Download the identifier in a file.](#)
- **IUPAC Standard InChIKey:** OTMSDBZUPAUEDD-UHFFFAOYSA-N
- **CAS Registry Number:** 74-84-0
- **Chemical structure:**



This structure is also available as a [2d Mol file](#) or as a [computed 3d SD file](#)  
The 3d structure may be viewed using [Java](#) or [Javascript](#).

- **Species with the same structure:**
  - [1-Ethenyl-1-methyl-2,4-bis-\(1-methylethenyl\)-1S-1α,2β,4α-cyclohexane](#)
- **Isotopologues:**
  - [pentadeuteroethane](#)
  - [Ethane-d1](#)

## Gas phase thermochemistry data

- [Notes](#)
- **Other data available:**
  - [Gas phase thermochemistry data](#)
  - [Condensed phase thermochemistry data](#)
  - [Phase change data](#)
  - [Reaction thermochemistry data](#)

# Gas phase thermochemistry data

| Quantity                        | Value              | Units  | Method | Reference                | Comment                                                                                                                                                         |
|---------------------------------|--------------------|--------|--------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta_f H^\circ_{\text{gas}}$ | $-84. \pm 0.4$     | kJ/mol |        | Manic 2002               |                                                                                                                                                                 |
| $\Delta_f H^\circ_{\text{gas}}$ | $-83.8 \pm 0.3$    | kJ/mol | Ccb    | Pittam and Pilcher, 1972 | ALS                                                                                                                                                             |
| $\Delta_f H^\circ_{\text{gas}}$ | $-84.67 \pm 0.49$  | kJ/mol | Ccb    | Prosen and Rossini, 1945 | Hf derived from Heat of Hydrogenation; ALS                                                                                                                      |
| Quantity                        | Value              | Units  | Method | Reference                | Comment                                                                                                                                                         |
| $\Delta_c H^\circ_{\text{gas}}$ | $-1560.7 \pm 0.3$  | kJ/mol |        | Pittam and 1972          |                                                                                                                                                                 |
| $\Delta_c H^\circ_{\text{gas}}$ | $-1559.9 \pm 0.46$ | kJ/mol | Ccb    | Prosen and Rossini, 1945 | Hf derived from Heat of Hydrogenation; Corresponding $\Delta_f H^\circ_{\text{gas}} = -84.64$ kJ/mol (simple calculation by NIST; no Washburn corrections); ALS |
| $\Delta_c H^\circ_{\text{gas}}$ | $-1559.8 \pm 0.46$ | kJ/mol | Ccb    | Rossini, 1934            | Corresponding $\Delta_f H^\circ_{\text{gas}} = -84.68$ kJ/mol (simple calculation by NIST; no Washburn corrections); ALS                                        |

標準モル「生成」エンタルピー

標準モル「燃焼」エンタルピー

小テスト：標準モル生成エンタルピー

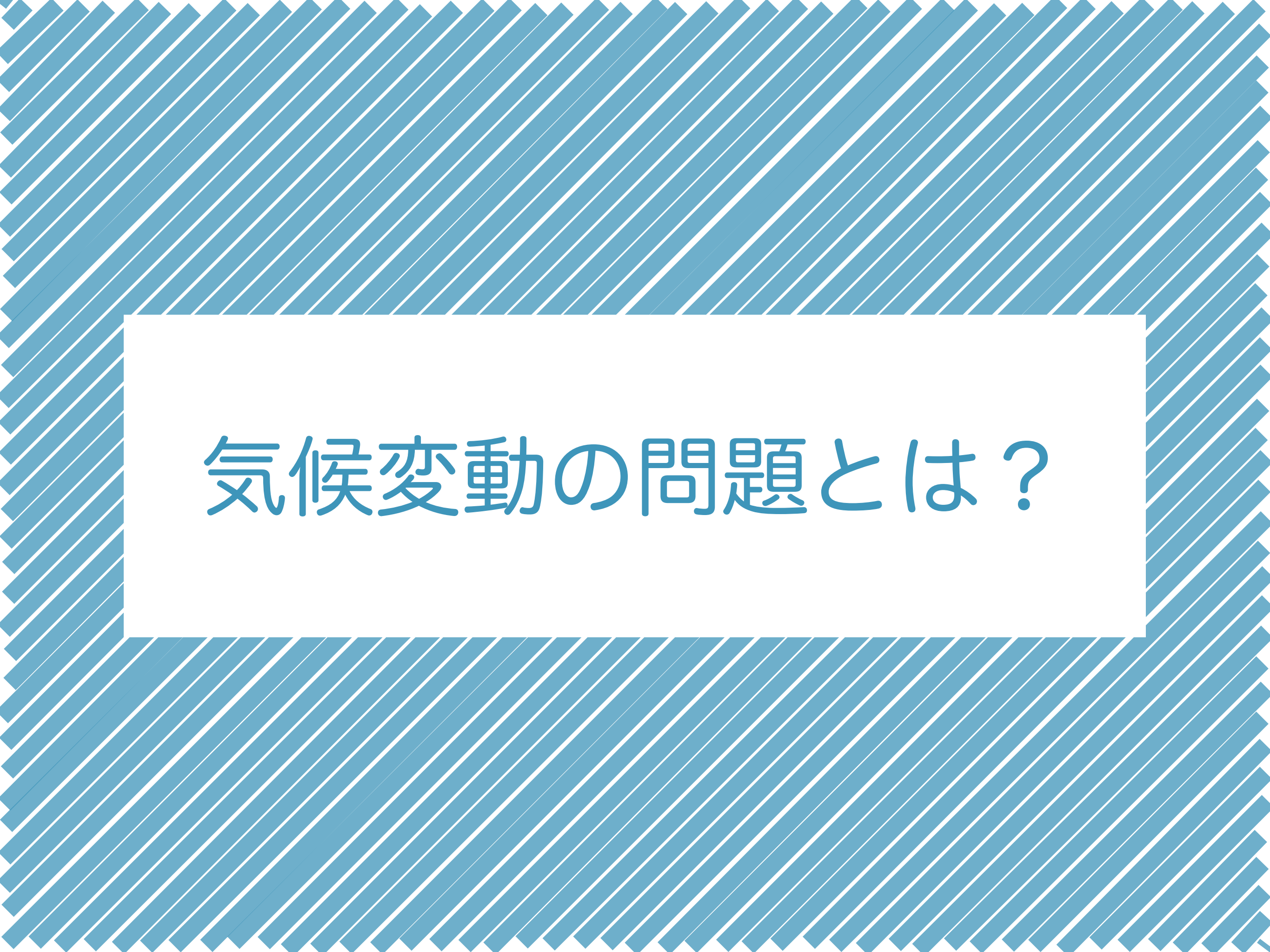
# 小テストについて

- 授業中に manaba で 小テスト を実施します
- 小テストを受講するときに、  
下記の資料を参考にすることができます
  - ▶ 実験テキスト
  - ▶ 自分の 実験ノート
  - ▶ 自分の 予習レポート
- 他の人の回答を見たり、他の人の実験ノートや  
予習レポートを見たりすることはできません

小テスト：5 分



休憩時間：5 分



気候変動の問題とは？

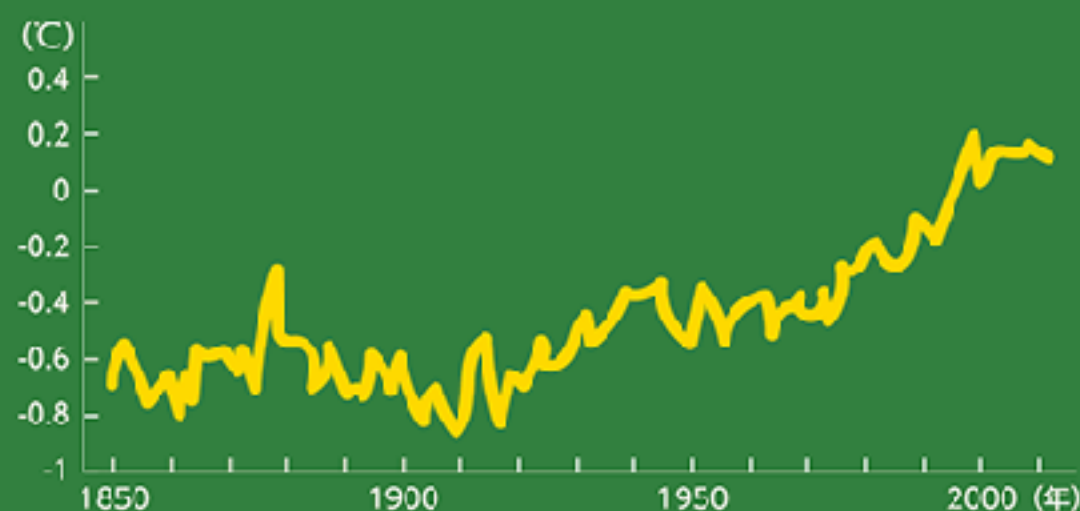
# 持続可能な開発目標 (SDGs)

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

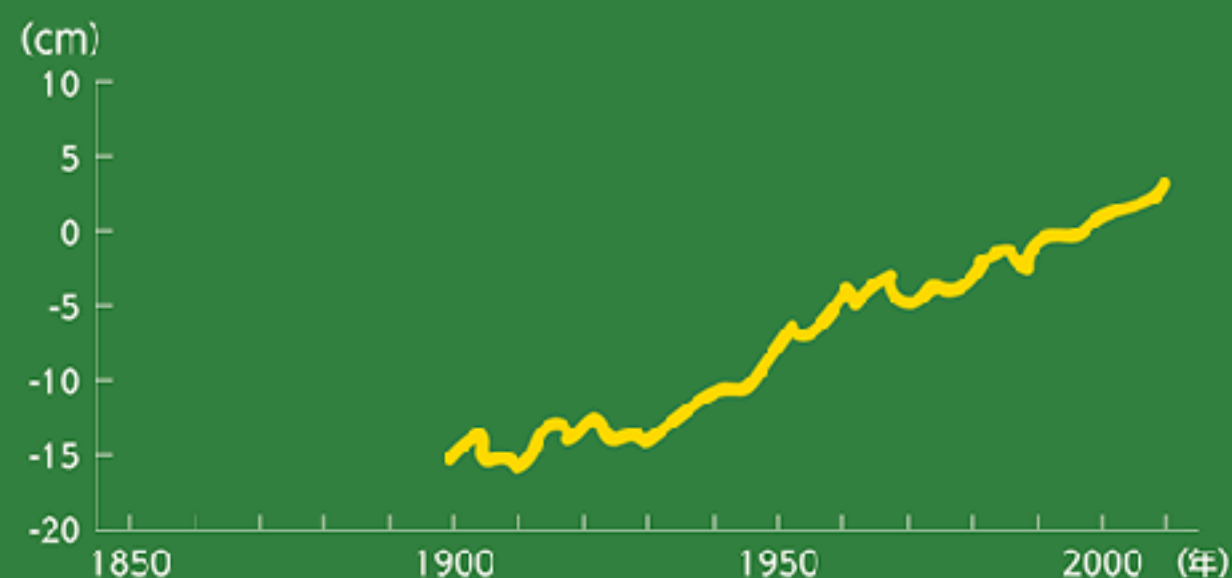
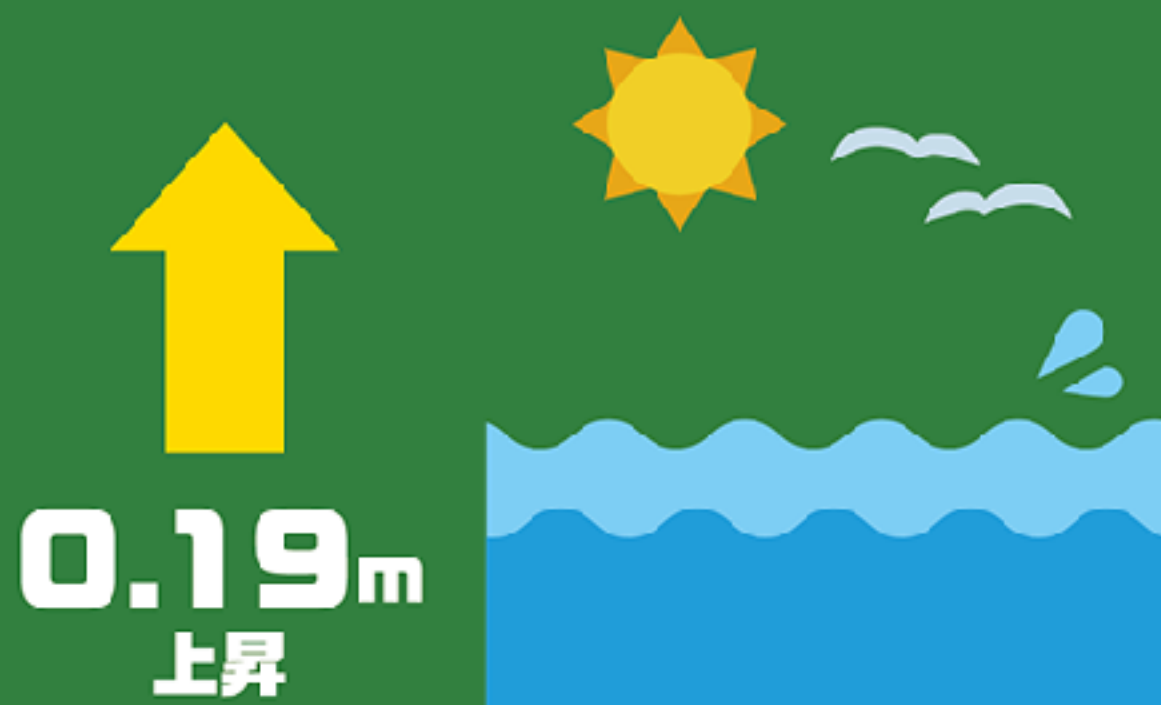
世界を変えるための17の目標



# 世界の平均地上気温は 1880~2012年の間に**0.85℃**上昇



# 世界の平均海面水位は 1901~2010年の間に**0.19m**上昇



# 化石燃料を燃焼させた時に生じるCO<sub>2</sub>は 地球温暖化を引き起こす





温室効果ガスとは？

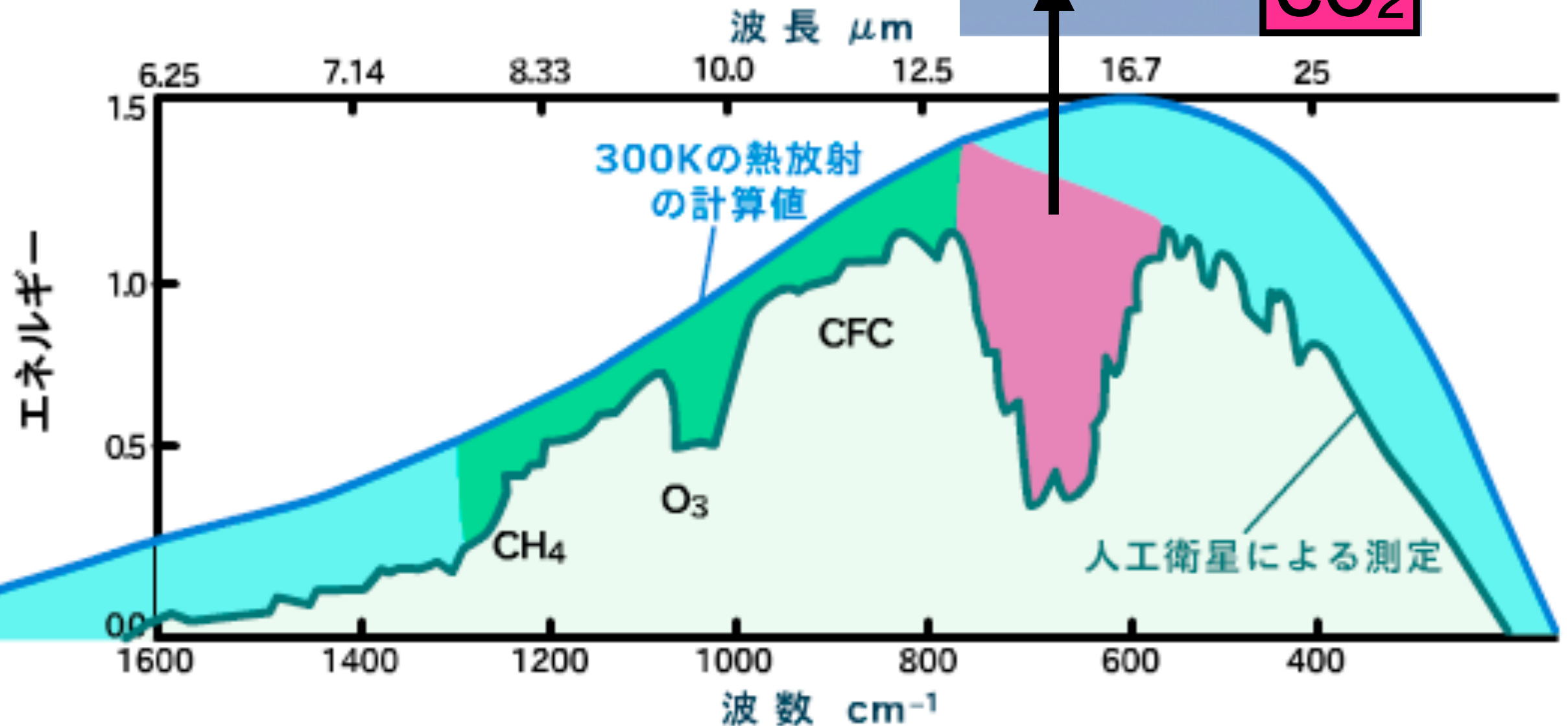
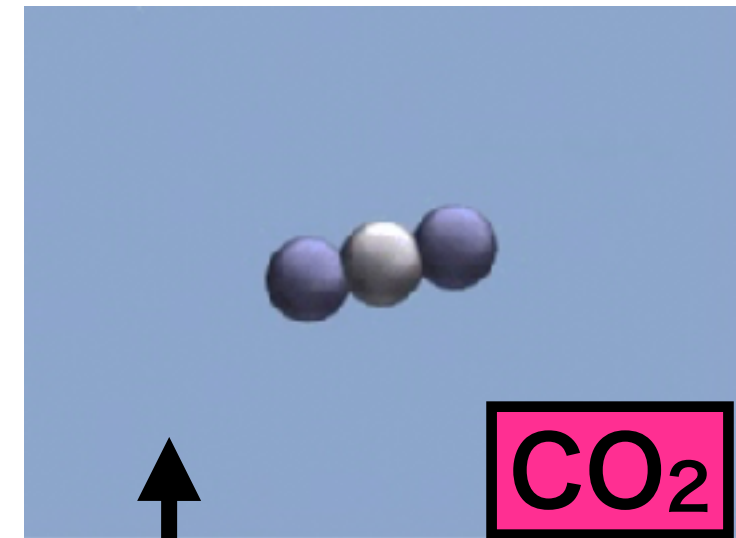
# 温室効果ガス





# なぜ CO<sub>2</sub> には温室効果があるのか？

CO<sub>2</sub> は  $667\text{cm}^{-1}$  の光を吸収して  
分子の運動エネルギーに変える  
➡ 徐々に大気の温度が上昇する



# 分子の振動状態を調べるには？

量子化学計算が手軽に実行できる Web アプリを使う

➡ MolCalc ( <https://molcalc.org> )



Search using molecule name or SMILES

3D 2D

Starting structure

Methane

Benzene

Water dimer

Optimize

Atoms

Off



H

Li

Be

C

N

O

F

Na

Mg

Al

Si

P

S

Cl

Br

I

+1

-1

Bonds

Off

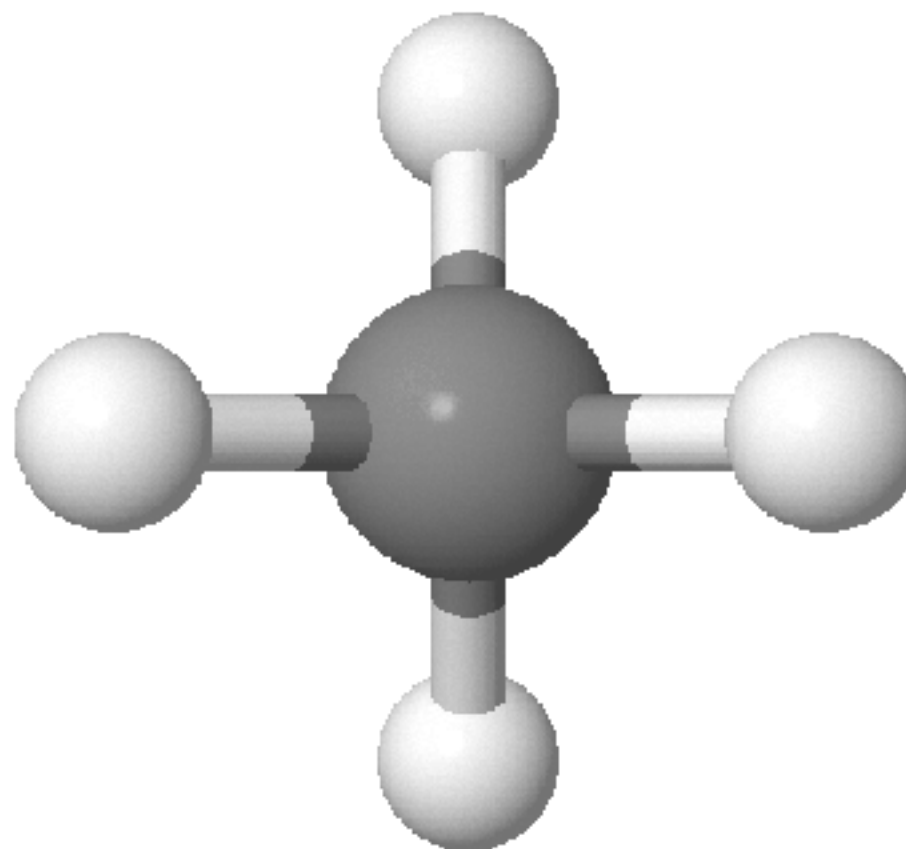
Break

Single

Double

Triple

Calculate Properties



Ready to calculate **quantum chemical properties** for the molecule?

Indeed





# Vibrational Frequencies

## Thermodynamics

### Enthalpy

|                              |       |                      |
|------------------------------|-------|----------------------|
| Translational                | 6.20  | $\text{kJ mol}^{-1}$ |
| Rotational                   | 2.48  | $\text{kJ mol}^{-1}$ |
| Vibrational                  | 30.04 | $\text{kJ mol}^{-1}$ |
| Total (Trans. + Rot. + Vib.) | 38.72 | $\text{kJ mol}^{-1}$ |

### Heat Capacity at Constant Pressure

|                              |       |                                   |
|------------------------------|-------|-----------------------------------|
| Translational                | 20.79 | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| Rotational                   | 8.31  | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| Vibrational                  | 10.51 | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| Total (Trans. + Rot. + Vib.) | 39.61 | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |

### Entropy

|                              |        |                                   |
|------------------------------|--------|-----------------------------------|
| Translational                | 155.94 | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| Rotational                   | 54.99  | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| Vibrational                  | 5.16   | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| Total (Trans. + Rot. + Vib.) | 216.08 | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |

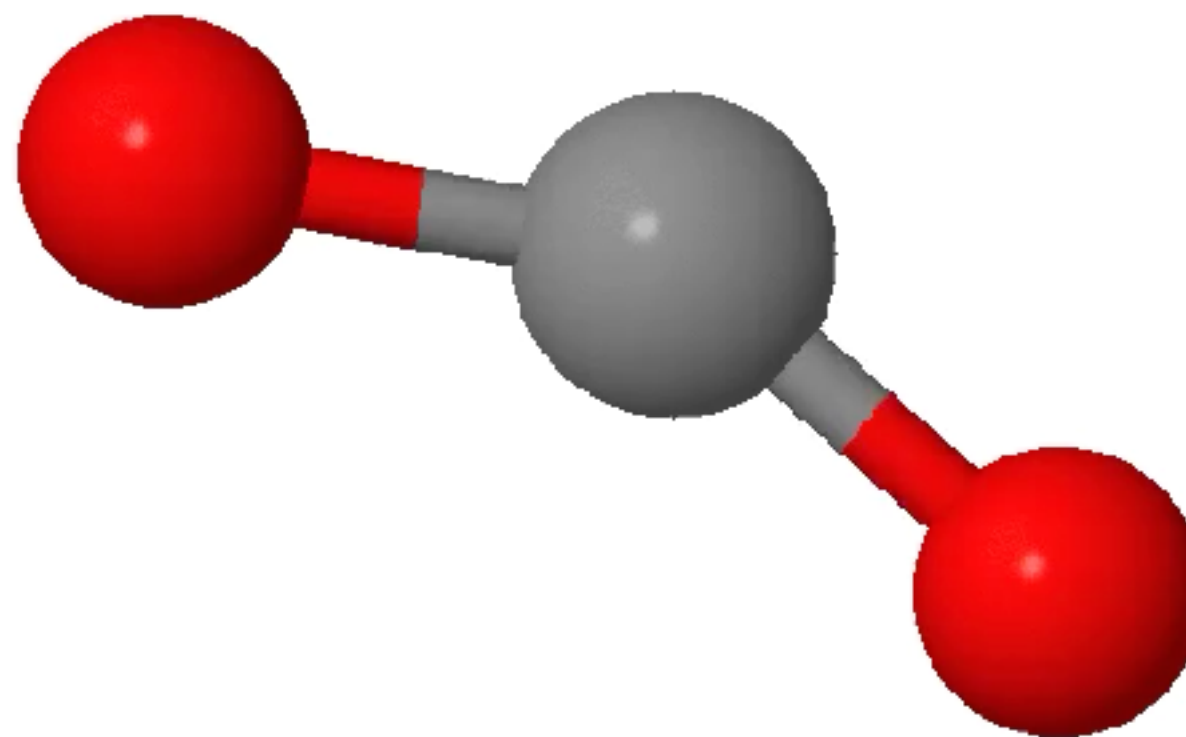
### Free Energy

|                   |         |                      |
|-------------------|---------|----------------------|
| Heat of Formation | -355.80 | $\text{kJ mol}^{-1}$ |
|-------------------|---------|----------------------|

## Vibrational Frequencies

|                  |                                        |
|------------------|----------------------------------------|
| Vibration        | <input checked="" type="checkbox"/> ON |
| Vectors          | <input type="checkbox"/> OFF           |
| Sticks and balls | <input checked="" type="checkbox"/> ON |

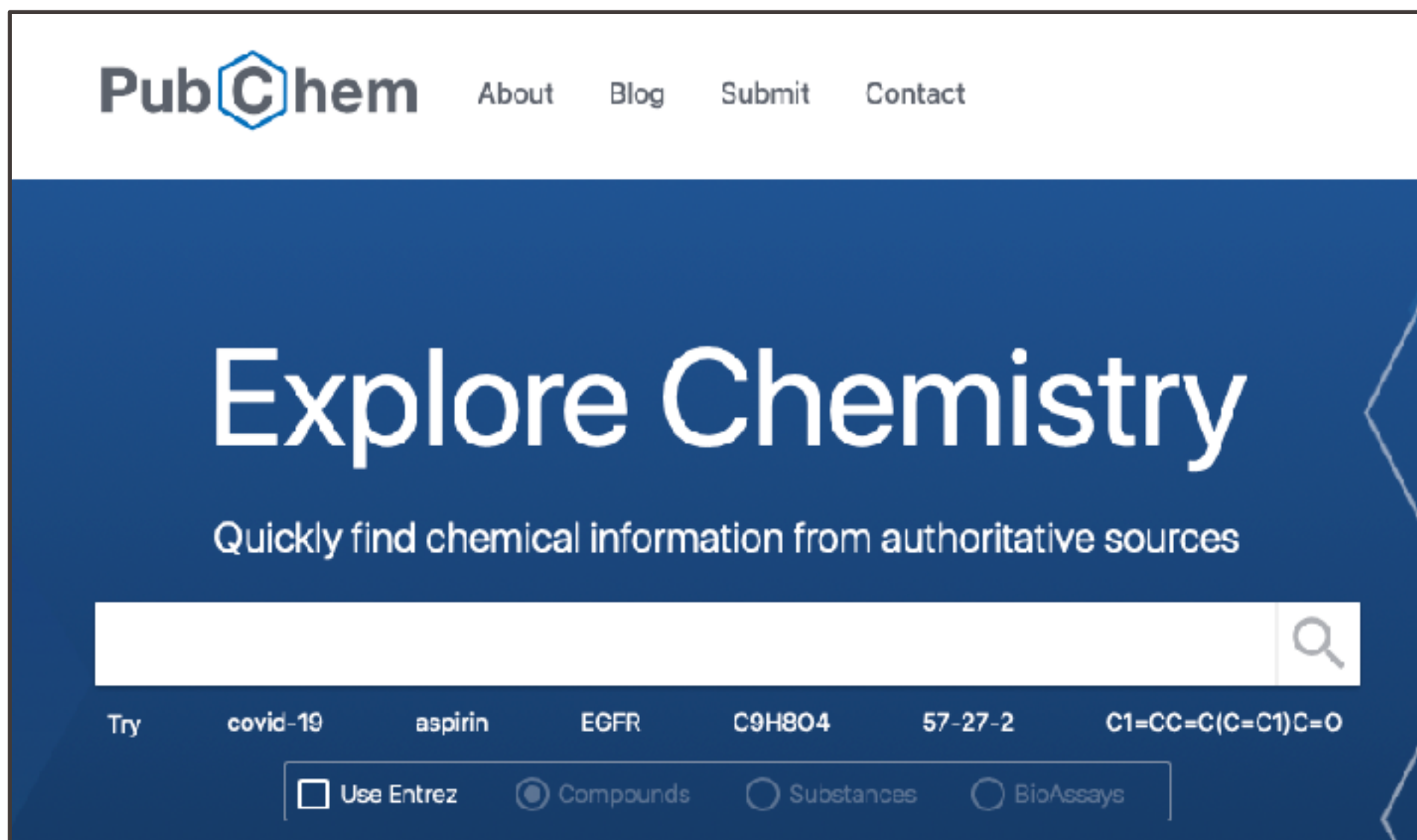
|  |                          |
|--|--------------------------|
|  | 521.11 $\text{cm}^{-1}$  |
|  | 521.26 $\text{cm}^{-1}$  |
|  | 1407.55 $\text{cm}^{-1}$ |
|  | 2385.92 $\text{cm}^{-1}$ |

521.11  $\text{cm}^{-1}$ 

# SMILES 記法 とは？

分子の化学構造を **文字列化** して表現する表記方法。

化学情報が登録されている様々なデータベースなどで、目的の化合物を検索するために用いることがある。





# SMILES 記法 の基本的なルール

- 原子は 元素記号 で表し、水素原子 は 省略 する
- 二重結合 は「=」、三重結合 は「#」で表す
- 単結合 は（通常は）省略 する
- 環構造 は、つながっている原子の後ろに  
数字でラベル付け する (**C1** など)
  - ▶ プロパン : **CCC**、シクロプロパン : **C1CC1**
- 芳香環 を構成する原子は小文字にする (**c** など)
  - ▶ ベンゼン : **c1ccccc1**

# SMILES 記法 の例

| 化合物名  | 化学式                           | SMILES |
|-------|-------------------------------|--------|
| メタン   | CH <sub>4</sub>               | ?      |
| アンモニア | NH <sub>3</sub>               |        |
| 水     | H <sub>2</sub> O              |        |
| 二酸化炭素 | CO <sub>2</sub>               |        |
| 窒素    | N <sub>2</sub>                |        |
| 酸素    | O <sub>2</sub>                |        |
| エタン   | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> |        |
| エチレン  | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> |        |
| アセチレン | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> |        |

# SMILES 記法 の例

| 化合物名          | 化学式                            | SMILES |
|---------------|--------------------------------|--------|
| ブタン           | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | ?      |
| 1,3-ブタジエン     | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>  |        |
| 1,2-ブタジエン     | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>  |        |
| シクロブタン        | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>  |        |
| シクロブタジエン      | C <sub>4</sub> H <sub>4</sub>  |        |
| シクロヘキサン       | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> |        |
| シクロヘキセン       | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> |        |
| 1,4-シクロヘキサジエン | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub>  |        |
| ベンゼン          | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>  |        |

# 小テスト：SMILES 記法

# 小テストについて

- 授業中に manaba で 小テスト を実施します
- 小テストを受講するときに、  
下記の資料を参考にすることができます
  - ▶ 実験テキスト
  - ▶ 自分の 実験ノート
  - ▶ 自分の 予習レポート
- 他の人の回答を見たり、他の人の実験ノートや  
予習レポートを見たりすることはできません

小テスト：5 分

休憩時間：5 分



分子の 反応 を予測する

メタンの生成エンタルピーを「予測する」には？



量子化学計算（分子軌道計算）を用いることで、  
データベースにないような未知の化合物であっても、  
生成エンタルピーを 理論的に予測 できる

➡ MolCalc ( <http://molcalc.org> )



Search using molecule name or SMILES

3D 2D

Starting structure

Methane

Benzene

Water dimer

Optimize

Atoms

Off



H

Li

Be

C

N

O

F

Na

Mg

Al

Si

P

S

Cl

Br

I

+1

-1

Bonds

Off

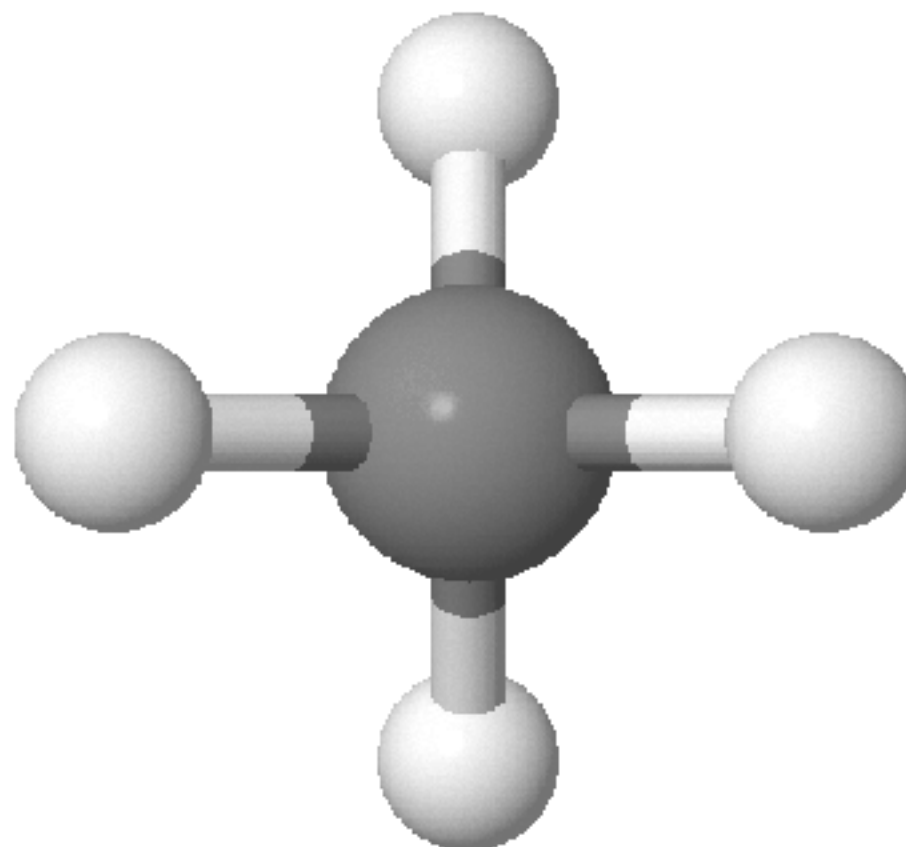
Break

Single

Double

Triple

Calculate Properties



## Thermodynamics

## Enthalpy

|                              |        |                      |
|------------------------------|--------|----------------------|
| Translational                | 6.20   | $\text{kJ mol}^{-1}$ |
| Rotational                   | 3.72   | $\text{kJ mol}^{-1}$ |
| Vibrational                  | 119.28 | $\text{kJ mol}^{-1}$ |
| Total (Trans. + Rot. + Vib.) | 129.20 | $\text{kJ mol}^{-1}$ |

## Heat Capacity at Constant Pressure

|                              |       |                                   |
|------------------------------|-------|-----------------------------------|
| Translational                | 20.79 | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| Rotational                   | 12.47 | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| Vibrational                  | 2.25  | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| Total (Trans. + Rot. + Vib.) | 35.51 | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |

## Entropy

|                              |        |                                   |
|------------------------------|--------|-----------------------------------|
| Translational                | 143.35 | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| Rotational                   | 62.93  | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| Vibrational                  | 0.39   | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| Total (Trans. + Rot. + Vib.) | 206.66 | $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ |

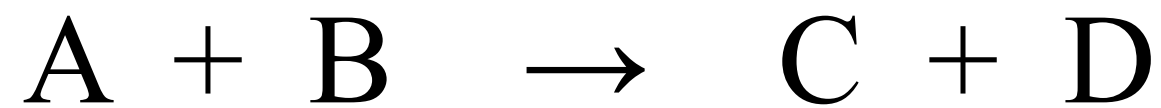
## Free Energy

|                   |        |                      |
|-------------------|--------|----------------------|
| Heat of Formation | -54.45 | $\text{kJ mol}^{-1}$ |
|-------------------|--------|----------------------|



# Heat of Formation

Q) 量子化学計算 (MolCalc) で得られた  
生成物と反応物の 生成エンタルピー  $\Delta_f H$  の 値を  
利用して 反応エンタルピー  $\Delta_r H$  を 求めるには？



A) 
$$\Delta_r H = \sum \Delta_f H_{\text{生成物}} - \sum \Delta_f H_{\text{反応物}}$$

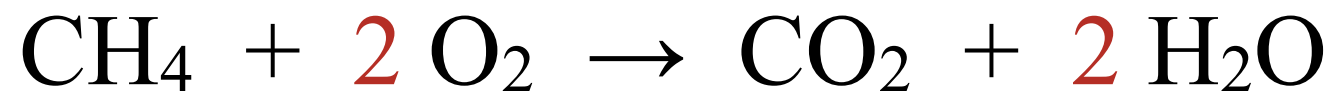
$$= [\Delta_f H_C + \Delta_f H_D] - [\Delta_f H_A + \Delta_f H_B]$$

生成物の  $\Delta_f H$  の総和

反応物の  $\Delta_f H$  の総和

# メタンの燃焼反応の反応エンタルピーは？

対応する反応式は



生成エンタルピーの値を用いて

$$\Delta_r H = [\Delta_f H_{\text{CO}_2} + 2 \times \Delta_f H_{\text{H}_2\text{O}}] - [\Delta_f H_{\text{CH}_4} + 2 \times \Delta_f H_{\text{O}_2}]$$

生成物の  $\Delta_f H$  の総和

反応物の  $\Delta_f H$  の総和

$$= [\boxed{?} + 2 \times \boxed{?}] - [\boxed{?} + 2 \times \boxed{?}]$$

$$= \boxed{?} \text{ kJ/mol}$$

演習：分子の「反応」を予測する



# 演習レポートについて

- 授業中に完成させて、最終版を提出します
  - ▶ 実験ノートに下書きをすることをお勧めします
- 教員やTAのサポートやアドバイスを受けながら取り組むことができます
- 他の受講生と相談することもできます
  - ▶ お互いに助け合う（ピア・サポート）の態度をプラスに評価します
- ただし、他の人のレポートを書き写すだけということはありません（※教員・TAが注意します）



# 課題 1

次の化合物について MolCalc を用いて熱力学的性質を調べて、それぞれの **生成エンタルピー** の値を答えよ。

- メタン ( $\text{CH}_4$ )
- エチレン ( $\text{C}_2\text{H}_4$ )
- ベンゼン ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )
- 酸素 ( $\text{O}_2$ )
- 二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ )
- 水 ( $\text{H}_2\text{O}$ )

## 課題 2

課題 1 で調べた生成エンタルピーの値を用いて、メタン  $\text{CH}_4$ 、エチレン  $\text{C}_2\text{H}_4$ 、ベンゼン  $\text{C}_6\text{H}_6$  が燃焼するときの反応エンタルピーを計算せよ。

- ▶  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- ▶  $\text{C}_2\text{H}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- ▶  $\text{C}_6\text{H}_6 + 15/2 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$

## 課題 3

化石燃料である石炭、石油、天然ガスを燃焼することで  
20 °C の水 1 kg を 100 °C まで加熱するとき、  
二酸化炭素の発生量はどの程度になると予測されるか。

➡ 気候変動の問題について考えるときの出発点



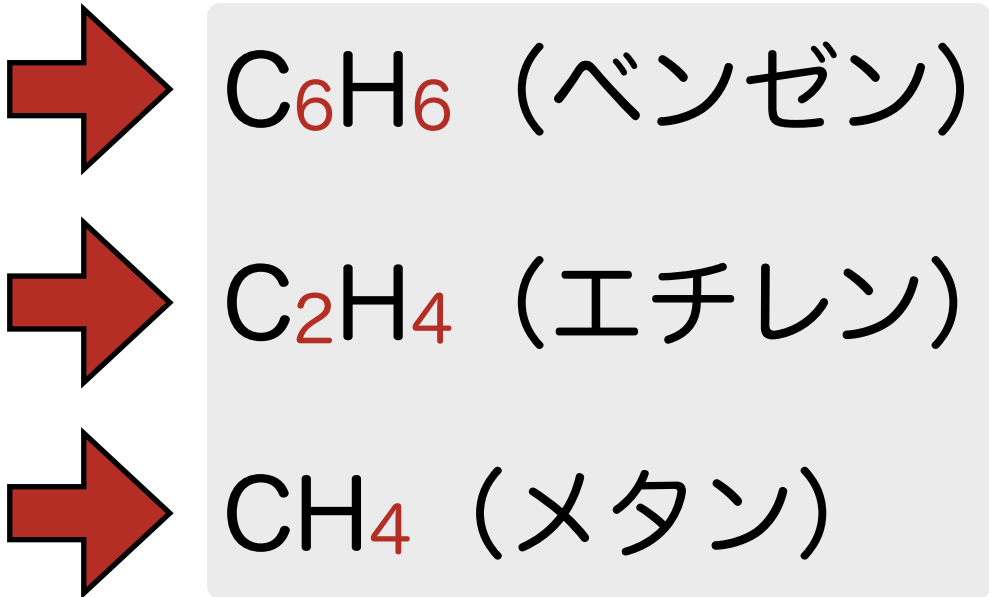
# 課題 3 のヒント

最初に，化石燃料に対するモデル物質について考える。  
化石燃料は組成が複雑なので，炭素と水素の組成比から，適切な炭化水素化合物をモデル物質とする。

表：化石燃料の組成比

| 化石燃料 | C:H 組成比 |
|------|---------|
| 石炭   | 1:1     |
| 石油   | 1:2     |
| 天然ガス | 1:4     |

モデル物質



## 課題 3 のヒント

水を目的の温度まで加熱するときに必要となる熱量を考える。**20 °C の水 1 kg を 100 °C まで加熱するときに必要となる熱量**は次のように求めることができる。

$$(100 \text{ [°C]} - 20 \text{ [°C]}) \times 1 \text{ [kg]} \times 4.2 \text{ [J]} = \text{A} \text{ [kJ]}$$

必要となる熱量

### ポイント

水 1 g の温度を 1 °C だけ上昇させようとするときに必要となる熱量は **4.2 J** となる

## 課題 3 のヒント

目的の熱量を得るために必要となる化石燃料の物質量について考える。天然ガスのモデル物質であるメタンが燃焼するときの反応式は次の通りである。



目的の熱量を得るために必要となるメタンの物質量は次のように求めることができる。

$$\boxed{\text{A}} \text{ [kJ]} \div 902 \text{ [kJ/mol]} = \boxed{\text{B}} \text{ [mol]}$$

必要となる化石燃料の物質量

## 課題 3 のヒント

化石燃料を燃焼させたときに発生する二酸化炭素の量について考える。

反応式 ( $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow 1 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ ) から,  
1 mol のメタン ( $\text{CH}_4$ ) が完全に燃焼した場合には  
1 mol の二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) が発生することが分かる。

### ポイント

熱化学反応式で示される各物質に対する係数の比から  
量的な関係を読み取ること



## 課題3のヒント

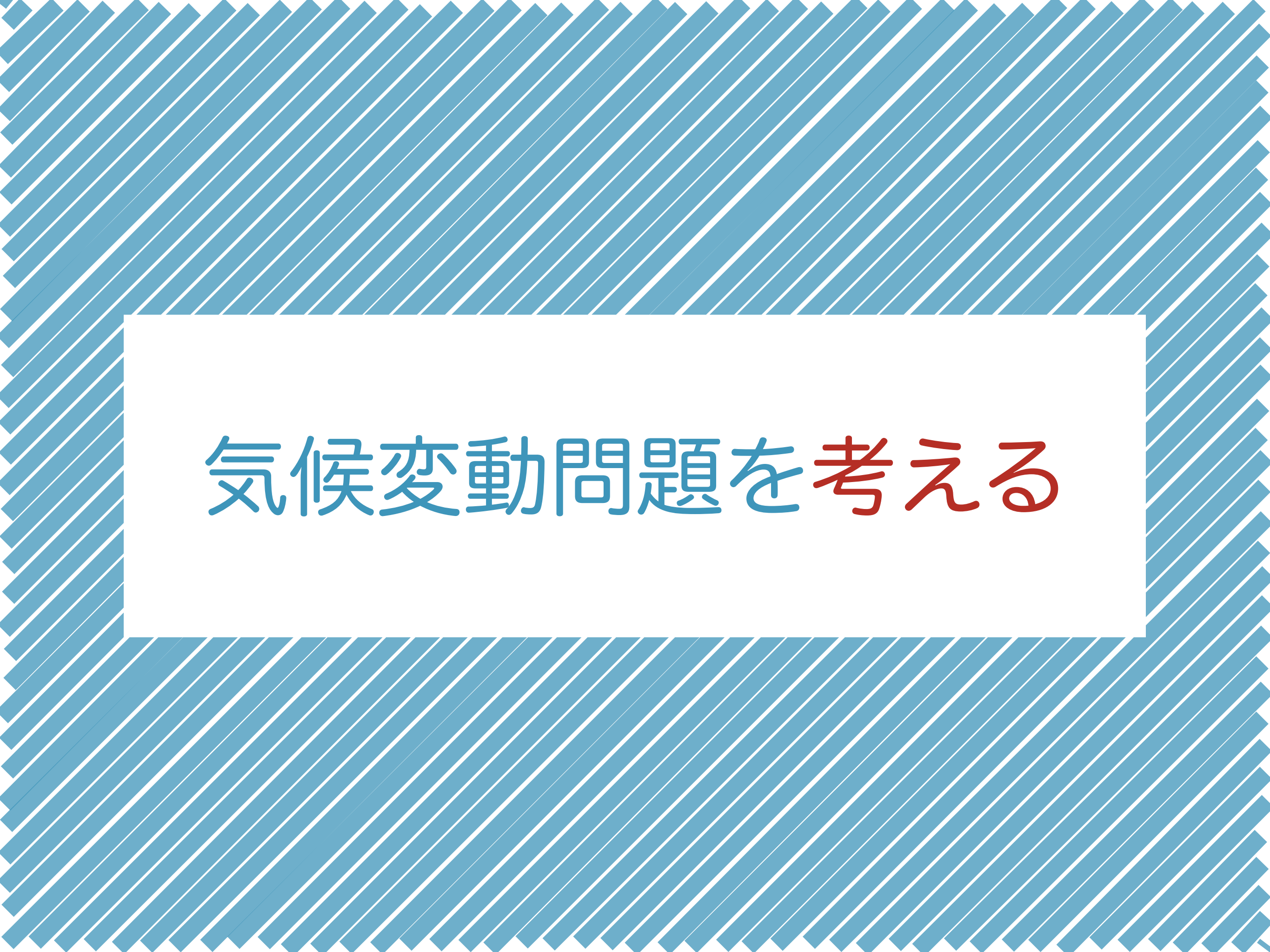
したがって、**B** mol のメタンを燃焼させたときに  
生じる二酸化炭素の物質量は次のように求められる。

$$\mathbf{B} \text{ [mol]} \times \mathbf{1} = \mathbf{C} \text{ [mol]}$$

発生する二酸化炭素の物質量

これまで説明した天然ガスの例をヒントにして、  
他の化石燃料（石炭・石油）についても同様に、  
二酸化炭素の発生量を求める。

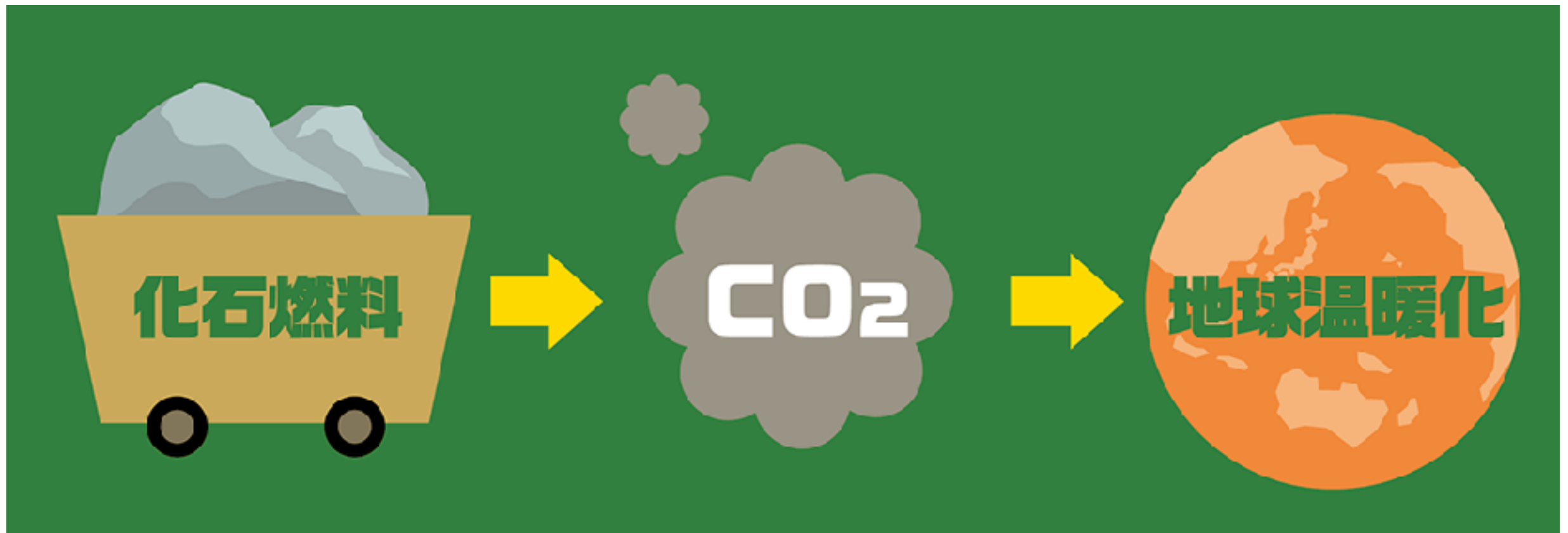




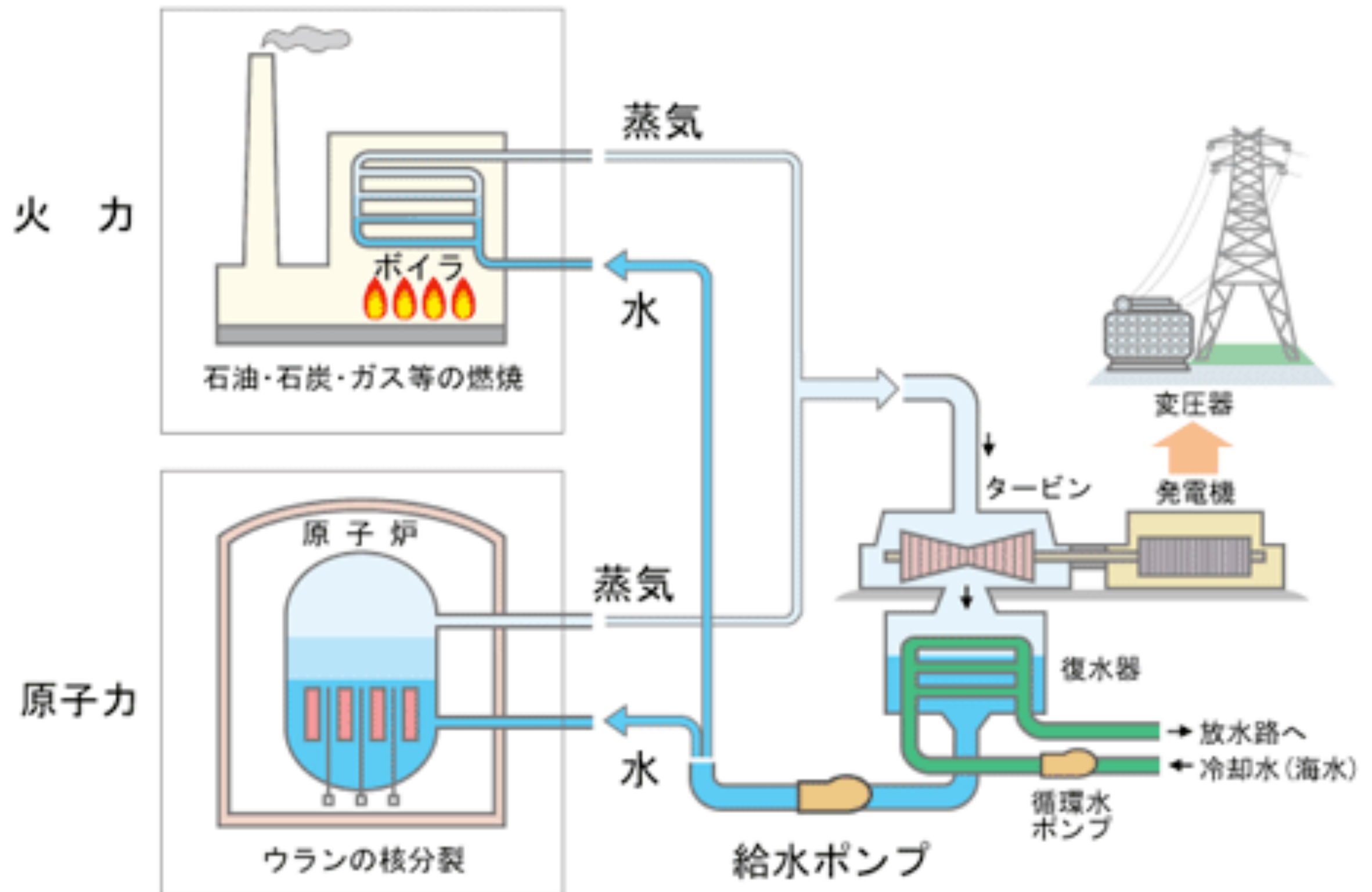
気候変動問題を考える

## 課題 4

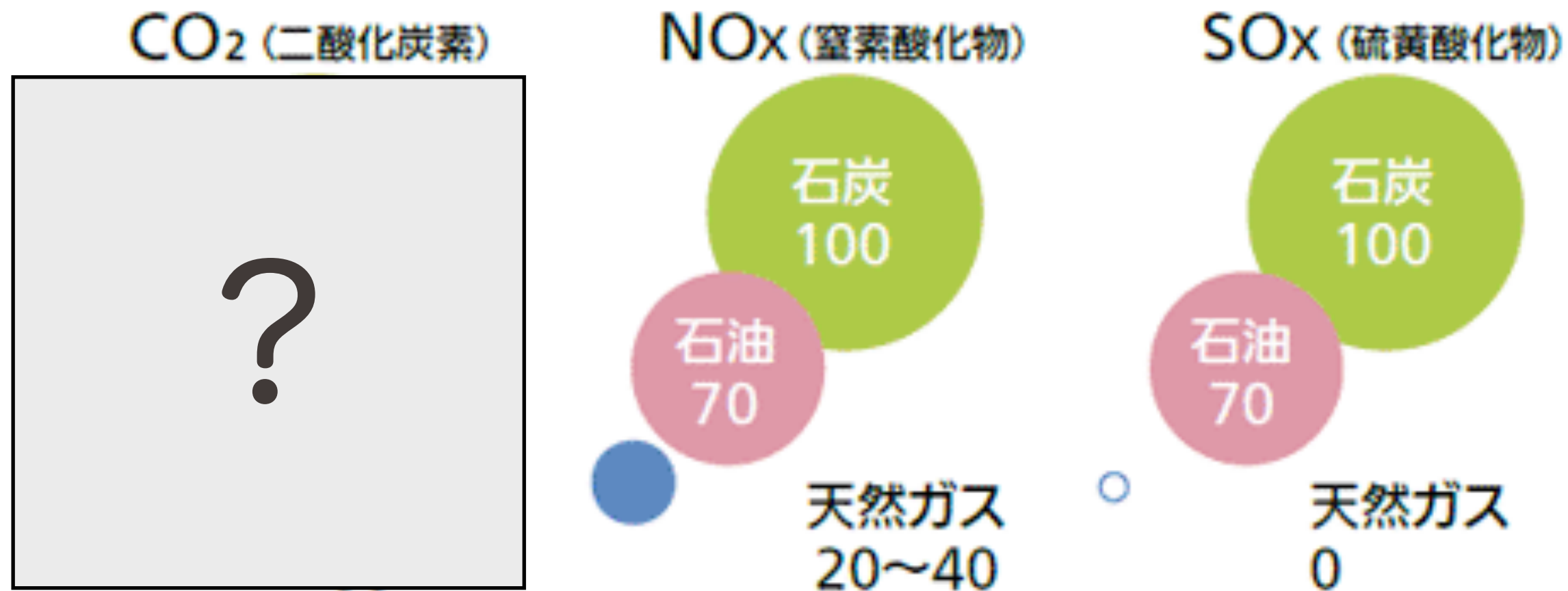
化石燃料を用いた場合の  $\text{CO}_2$  発生量の違いから、火力発電所などの大規模  $\text{CO}_2$  発生源を想定した場合、**気候変動に配慮してエネルギーを生産する方法**として、どのようなことが考えられるだろうか？



# 発電のしくみ



# 火力発電の環境コストは？



出典:「IEA(国際エネルギー機関)Natural Gas Prospects to 2010,1986」

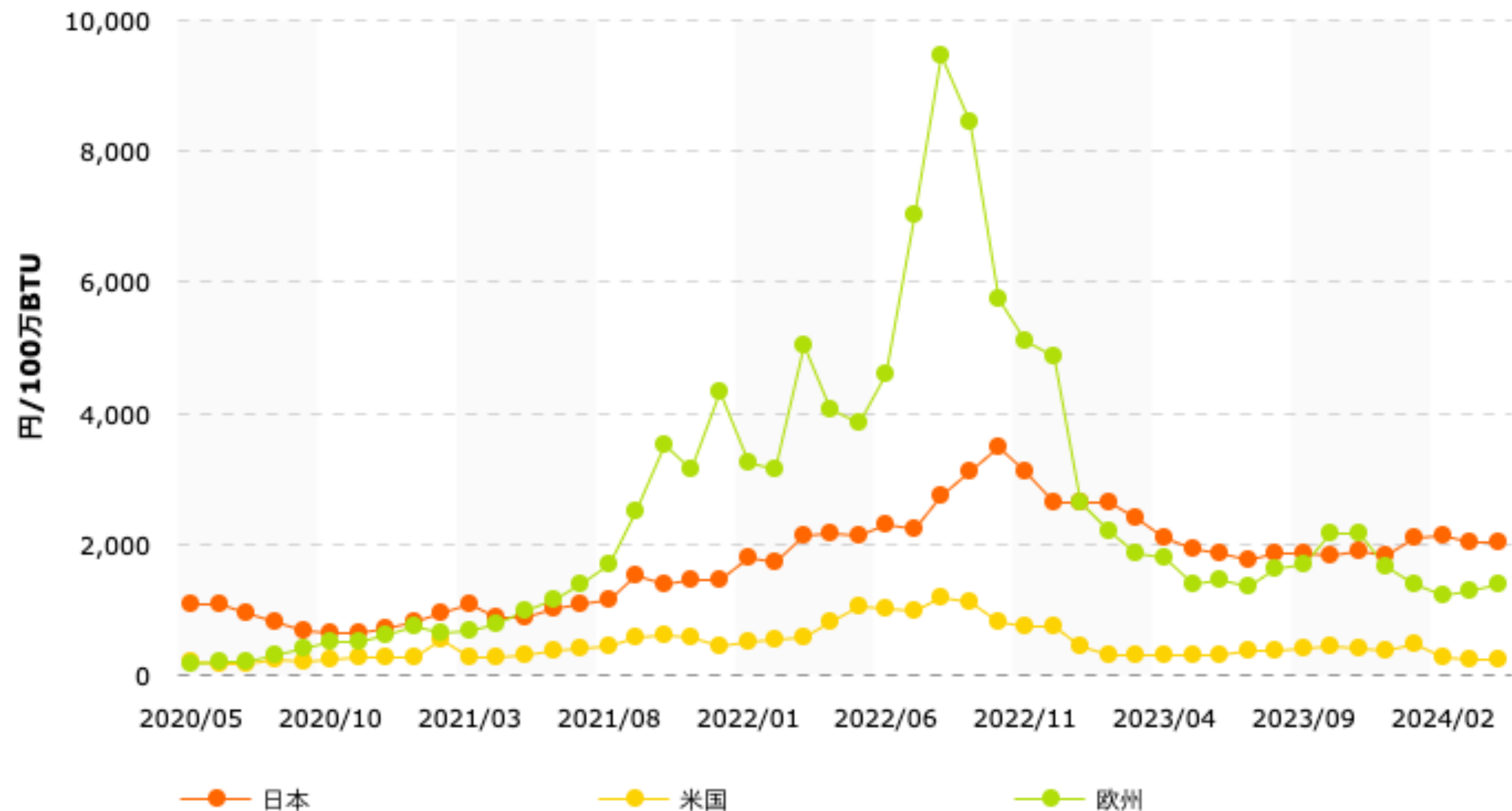
# 火力発電の価格コストは？

| 燃料            | 発熱量<br>[MJ/kg] | コスト <sup>1)</sup><br>[円/kWh] |
|---------------|----------------|------------------------------|
| 石炭            | 26             | 24                           |
| 原油            | 42             | 32                           |
| 天然ガス<br>(LNG) | 55             | 17                           |

1) 新電力ネット / コモディ統計情報 / 2024年6月時点

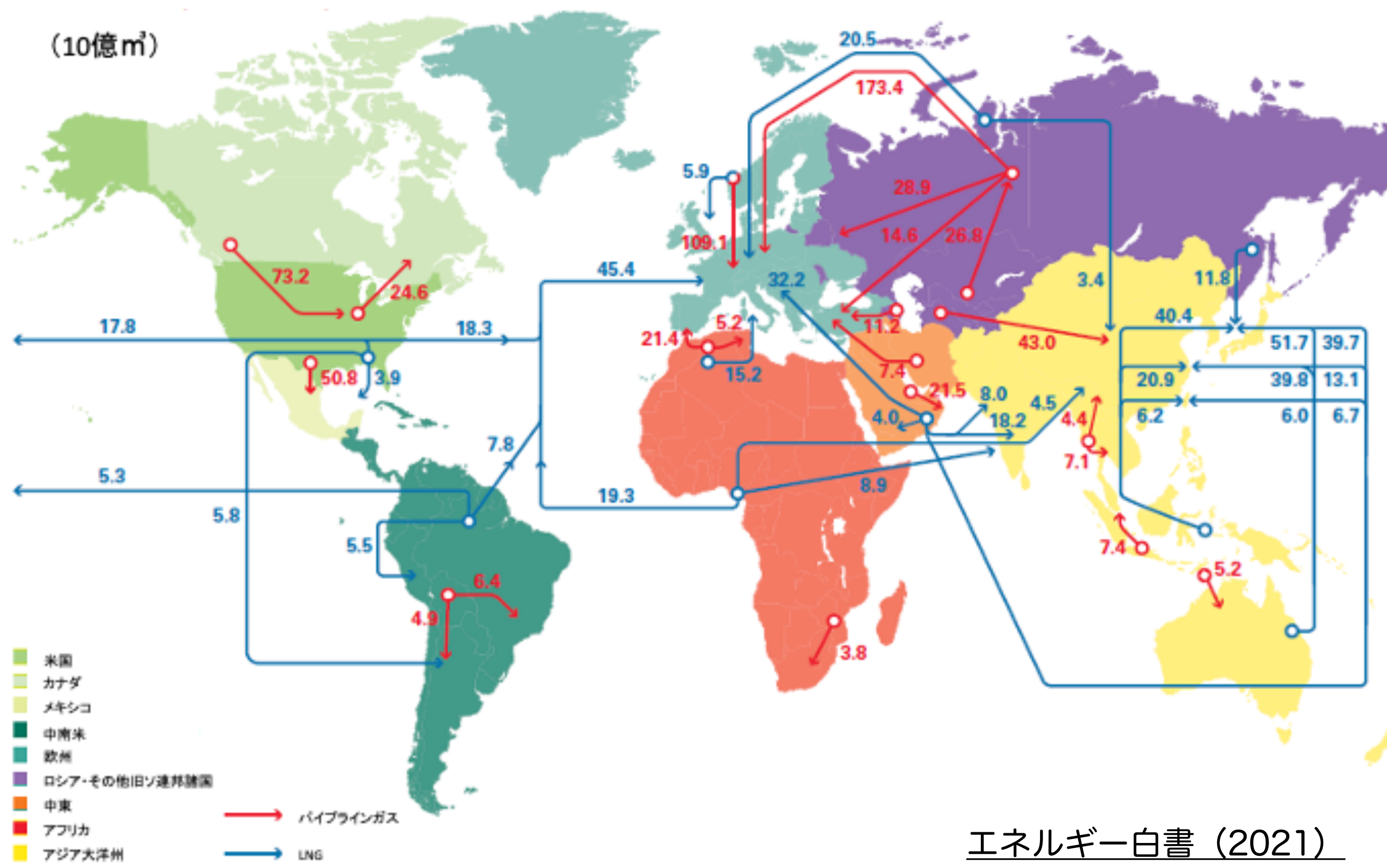
# 天然ガスの価格コストの推移は？

為替考慮の天然ガス価格推移 (円/mmbtu)





# 天然ガス貿易（2019年）



|      | エネルギー<br>自給率<br>(2021年) | ロシアへの依存度<br>(2020年の輸入量におけるロシア比率) ※日本のみ2021年 |            |            |
|------|-------------------------|---------------------------------------------|------------|------------|
|      |                         | 石油                                          | 天然ガス       | 石炭         |
| 日本   | 13%                     | 4%                                          | 9%         | 11%        |
| イタリア | 23%                     | 11%                                         | <b>31%</b> | <b>56%</b> |
| ドイツ  | 35%                     | <b>34%</b>                                  | <b>43%</b> | <b>48%</b> |
| フランス | 54%                     | 0%                                          | <b>27%</b> | <b>29%</b> |
| 英国   | 61%                     | 11%                                         | 5%         | <b>36%</b> |
| 米国   | 104%                    | 1 %                                         | 0%         | 0%         |
| カナダ  | 186%                    | 0%                                          | 0%         | 0%         |

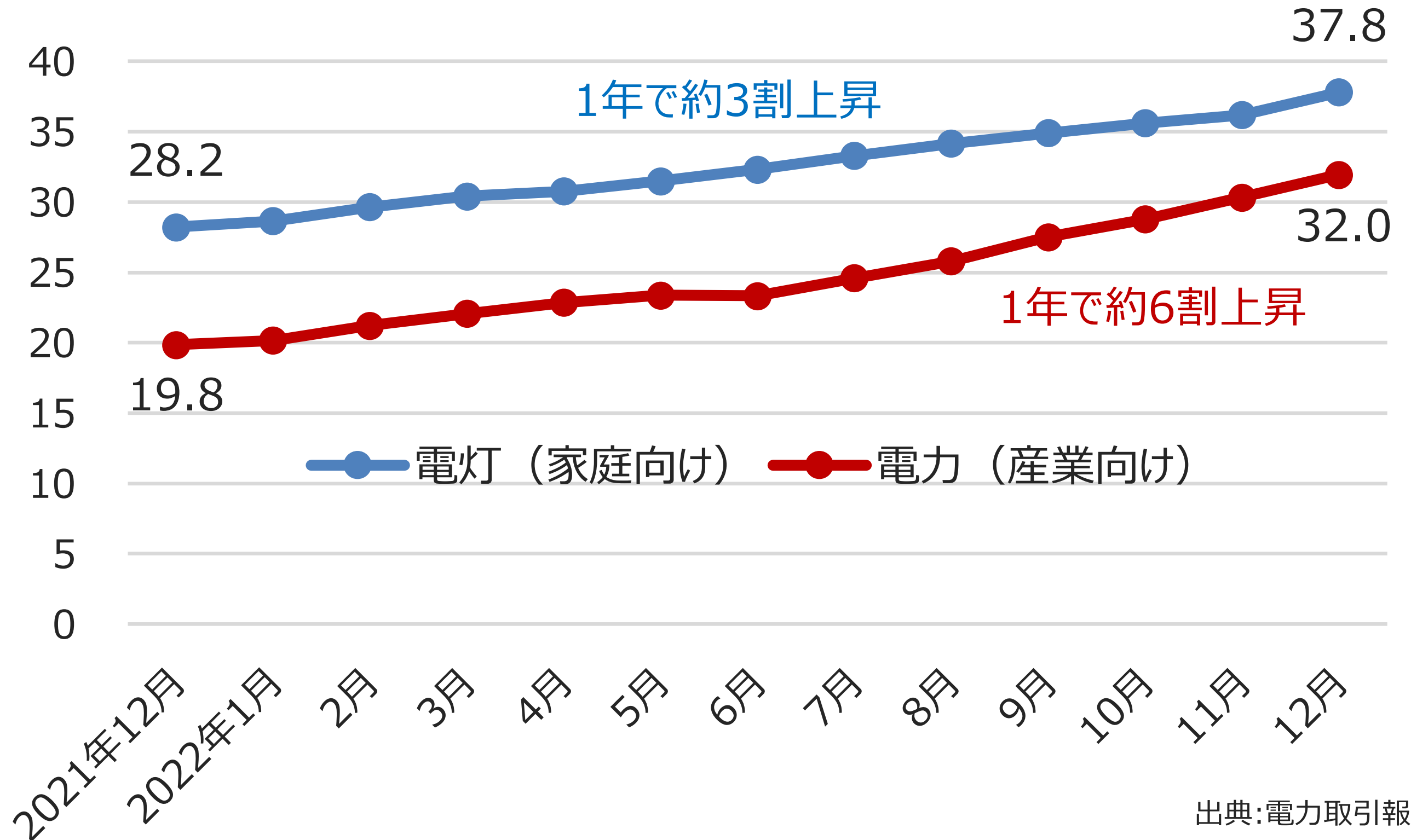
出典：World Energy Balances 2022、BP統計、EIA、Oil Information、Cedigaz統計、Coal Information、貿易統計



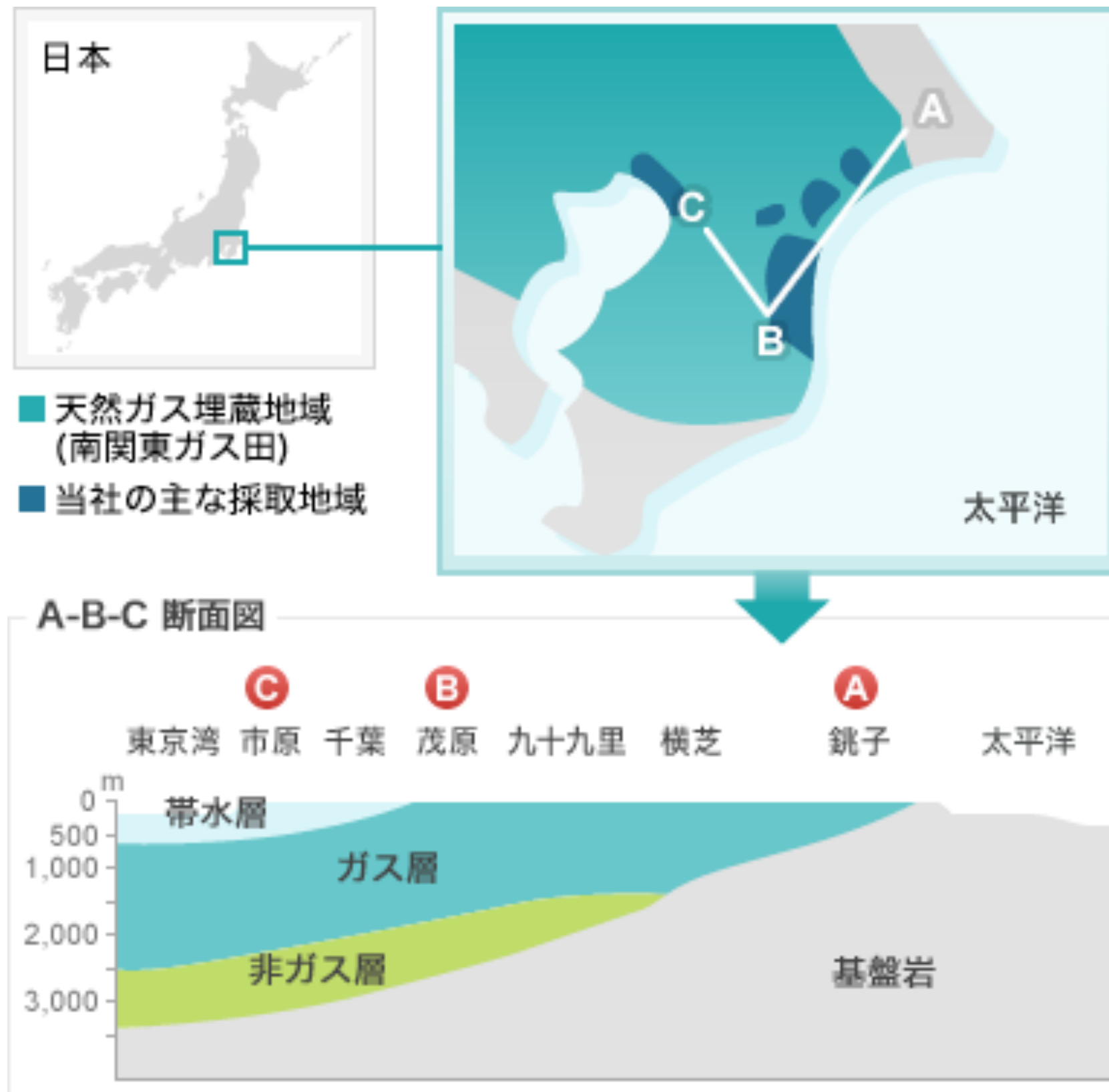
# エネルギー価格の推移

## 電気料金の推移

(円/kWh)



# 日本で天然ガスは存在するか？





# 日本で天然ガスは存在するか？

## 国産ガス開発加速

経済産業省は国産ガスを確保するため日本近海で開発事業を加速する。

次世代資源

メタンハイドレート

本海側での

今夏に始まる

イドレート

した太平洋

ら試験生産

西沖では4

天然ガスま

たな埋蔵量

調査を踏ま

時に進め、

輸入依存を

脱却するこ

日本海側

は海底数10

浅いとス

層型と呼ば

イドレート

主成分で水

量に含む。

以降に明治

## メタンハイドレート

メタンハイドレート 日本海で調査  
佐渡南西沖では4月から試掘

### 輸入頼み脱却狙う

#### 日本の周辺海域での資源開発

■ 海洋エネルギー資源開発促進  
日本海連合  
(秋田、山形、新潟、富山、石川、福井、  
京都、兵庫、島根、鳥取)

● メタンハイドレートの埋蔵の  
可能性が指摘されている地域

✕ 試掘を実施する場所

佐渡の南西沖  
・石油・天然ガスを  
4～6月に試掘

#### 遅美半島・志摩半島の沖合

- ・メタンハイドレートを3月上旬にも  
世界で初めて海底から産出
- ・周辺には日本の11年分の輸入量の  
LNGに相当する資源の可能性

走沖や秋田・山形沖で試掘の取得に成功した。広域に分布する可能性が高まったため、今夏から3年かけて北海道から島根

の沿岸5～6地域の広範囲で埋蔵量を調べる。表層型のメタンハイドレートは日本海側では03年に上越沖で発見され

た。採算性が不明で政府は調査・研究を見合わせていたが、11年の東京電力福島第1原子力発電所の事故後に火力発電に使

▼メタンハイドレート  
天然ガスの成分であるメタンの周りを水が囲んだ氷状の塊で、分解すると体積の160～170倍のメタンガスが出る。「燃える氷」と呼ばれ次世代エネルギーとして期待が高い。低温高圧の条件下で存在する。カナダの永久凍土層など陸上で見つかった例もあるが、日本

には大規模な永久凍土層はなく、海底に存在する。石油や石炭と比べて燃やしたときの二酸化炭素排出量が少ないため、環境対策としても注目されている。産業界技術総合研究所によると、日本には国内の天然ガス消費量の約100年分のメタンハイドレートがあると推定される。

う液化天然ガス(LNG)の輸入が急増し、状況が変わった。LNGの輸入額は2年連続で過去最大となり、12年は貿易収支全体が過去最大の赤字となった。貿易赤字を定着

させないため埋蔵の可能性のある海域を幅広く調査する。

埋蔵を確認済みの太平洋側の遅美半島・志摩半島沖では、石油天然ガス

・金属鉱物資源機構(JOGMEC)と産業界技術総合研究所が砂層型と呼ばれる海底深くのメタンハイドレートの産出試験にとりかかった。海底から産出できれば世界で初めてとなる。1月28日に調査船が到着し、3月中旬にもガスを試験生産できる見通し。周辺の東南海

トラフ地域には日本のLNG輸入量の11年分に相当する資源量が確認されており、今後どれだけの量を利用できるかが焦点となる。

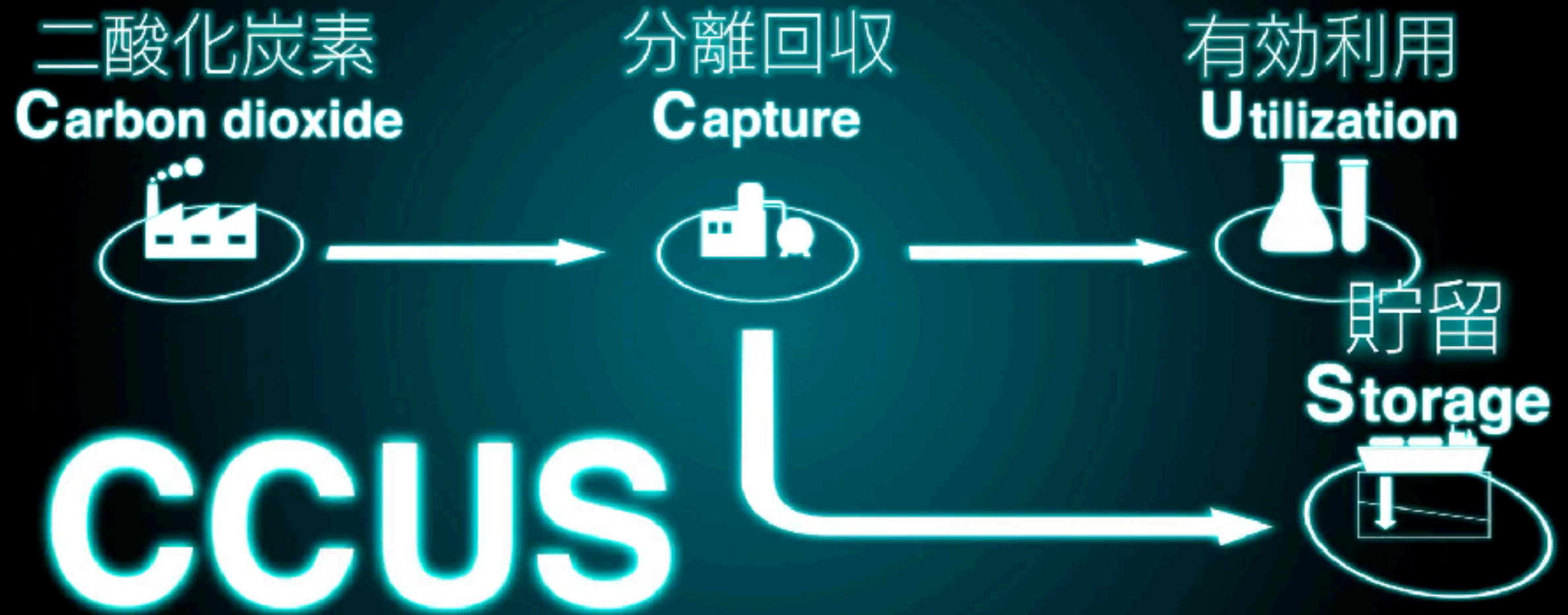
日本海の佐渡南西沖では石油・天然ガスの試掘性がある。





回収した CO<sub>2</sub> を有効利用する技術

# CO<sub>2</sub>を分離回収・有効利用・貯留する技術



# この演習で学んだことは？

