第1章 JavaScript

1.1 JavaScript とは

1995年、ネットスケープ・コミュニケーションズ (Netscape Communications) 社から公表されたプログラミング言語である。HTML で記述された Web ページに簡易なインタラクティブ性をもたらすために導入された。開発者はブレンダン・アイク (Brendan Eich) である。ネットスケープ社は現在は AOL に吸収され、さらに AOL は Verizon Communications 社の傘下になっている。ただし JavaScript の仕様策定は Mozilla Foundation に受け継がれている。

JavaScript の最初の名前は LiveScript だったが、後に当時の Java の人気にあやかって JavaScript に改められた。しかし Java と JavaScript はまったく別の言語である。（"Java と JavaScript の関係は Ham と Hamster との関係のようなものだ" と言われる。）

JavaScript の主な特徴は以下のとおりである。

- ______________に基づくオブジェクト指向言語である。
- ______などに埋め込まれるスクリプト言語としてよく使用される。
- Java に（つまり C に）似た文法を持つ。
- 関数型言語的なプログラミングも可能である。

マイクロソフト社も JScript という JavaScript に類似の言語を自社のブラウザー用に実装していた。複数の似た規格が乱立すると混乱が起きるため、 ECMAという機関で言語規格の標準化が行われた。ここで決められた言語を ___________ という。つまり JavaScript も JScript も ECMAScript の実装の一つ（あるいは規格の拡張の一つ）という位置付けになる。 ただし JavaScript という言葉は ECMASCript や JScript を含む ECMAScript の実装を含む広い意味で使われることが多い。

登場からしばらくの間は、JavaScript は Web ページの単純なインタラクションを実現するためだけに使われ、本格的な Web 上のインタラクティブコンテンツは Java アプレットや Adobe Flash によって記述されることが多かった。しかし、コンピューターの性能が上がって JavaScript が十分な速度で実行できるようになり、ブラウザー間の互換性の問題が解決されると、JavaScript で本格的なインタラクティブ Web ページが作成できるようになった。逆に Java アプレットや Flash に対してはセキュリティーの問題点が浮上してきた。2010年代の半ば頃に主要なブラウザーの Java アプレット、Flash のサポートが打ち切られ、その後は JavaScript がほぼ唯一のインタラクティブ性を提供する手段となってしまっている。

1.2 JavaScript の使用法

今日では JavaScript はサーバー側のアプリケーションやデスクトップアプリケーションの作成にも使用されている。 それでも JavaScript は HTML に埋め込んで

ブラウザー上で実行され、インタラクティブな Web ページを記述する用途が主流である。以下では HTML 中の JavaScript の使用に絞って説明する。

HTML に埋め込むとき JavaScript は `<script type="text/javascript">` 〜 `</script>` というタグの間に書く。

```
<script type="text/javascript">
  // ここに JavaScript のプログラムを書く。
</script>
```

あるいは、`src` という属性を使って、

```
<script type="text/javascript" src="nantoka.js">
</script>
```

で、別ファイル（*nantoka*`.js`）の JavaScript ソースを読み込める。なお `type="text/javascript"` は省略可能である。

この例でわかるように JavaScript ソースファイルの拡張子は通常 ＿＿ である。

2015 年に制定された ECMAScript 6 からモジュールという仕組みが導入された。モジュールを記述しているソースを読み込む場合は

```
<script type="module" src="kantoka.js"></script>
```

のように `type="module"` とする。また、モジュールのソースファイルには `.mjs` という拡張子を使うこともある。

1.3 JavaScript の開発環境

JavaScript のプログラムは通常のテキストエディターで編集できるが、統合開発環境 (IDE) を使うと、シンタックスハイライトなどの支援があり、デバッガーも統合されているため、プログラムを迅速に開発することができる。

統合開発環境としては、Eclipse Foundation の Eclipse, JetBrains 社の IntelliJ IDEA, Microsoft 社の Visual Studio, Visual Studio Code などがある。Eclipse や IntelliJ IDEA は Java の開発環境としても有名である。なお Visual Studio Code はそれ自体も JavaScript （TypeScript を含む）を使って記述されている。

またブラウザー上で実行できるオンライン開発環境もいくつか見つけることができる。 JSFiddle (https://jsfiddle.net/), CodePen (https://codepen.io/), JS Bin (https://jsbin.com), Plunker (https://plnkr.co/) などは JavaScript に特化したオンライン IDE である。一方 Ideone (https://www.ideone.com/), Rextester (https://rextester.com/), JDoodle (https://www.jdoodle.com/), Paiza.IO (https://paiza.io/ja) などは JavaScript 以外にも多くのプログラミング言語を選択して、実行することができる。

1.4 JavaScript の基本文法

JavaScriptの基本的な文法はC言語あるいはJava言語に似ているため、これらの言語を既に知っている人は、ほとんどの部分は見慣れているだろう。ただし、型に関する宣言は必要ないので、異なるキーワードを用いる部分がある。

定数

JavaScriptの定数は、`39`や`3.14159`などの数値、`true`, `false`などの真偽値などがある。文字列定数は、0個以上の文字を二重引用符「`"`」または一重引用符「`'`」で囲む。（例えば、「`"Hello, world!"`」「`'Takamatsu, Kagawa'`」などが文字列の定数である。）

関数呼出し

関数は、前もって定義されているプログラムの部品である。関数名のあとに丸括弧の対「`(~)`」を書き、その中に関数に渡すデータを表す式（引数・ひきすう）をコンマ「`,`」で区切って書くと関数呼出しの式になり、前もって用意されたコードを利用することができる。

例えば、＿＿＿＿＿は警告ダイアログを開いてメッセージを表示する関数である。次のように書くと、“Hello, world!” と表示するダイアログを開く。

ファイル alert1.js

```
1 alert("Hello, world!");
```

式と文

式のあとにセミコロン「`;`」をつけると文になる。文を単純に並べると、上（左）から順次実行される。

ファイル alert2.js

```
1 alert("Hello");
2 alert("world!");
```

このプログラムはまず、“Hello” というダイアログを開いてから、“World!”というダイアログを開く。

`console.log`メソッド

コンソール画面（後述）にメッセージを出力するためには＿＿＿＿＿＿＿＿というメソッドを使う。引数の数は決まっておらず、与えられた引数を順に出力する。

ファイル console.js

```
1 console.log("hello", 10, 24);
```

オブジェクトとドット演算子

ドット「`.`」は、オブジェクトからその構成要素（プロパティーやメソッド）を取り出すための演算子である。JavaScriptのオブジェクトは、名前に関連付けら

れたデータ（プロパティー）や関数（メソッド）の集まりである。上の `console.log` も正確に表現すると、`console` という名前のオブジェクトの `log` という名前に関連付けられている関数（メソッド）である。

コメント

コメントは、プログラム中に挿入する人間に対するメッセージ・覚え書きで、プログラムの実行には影響を及ぼさない。

JavaScript のコメントは「___」から「___」までの間と、「___」からその行の終わりまでである。前者のコメントは複数行にまたがることができる。

1.5 JavaScript プログラムのデバッグ

上述の `console.log` 関数は、コンソールに出力する関数である。「コンソール」の表示の仕方はブラウザーによって異なるが、Chrome の場合は、「⋮」－「その他のツール」－「デベロッパー ツール」、Firefox の場合は、「≡」－「その他のツール」－「Web 開発ツール」、Edge の場合は、「…」－「その他のツール」－「開発者ツール」、で表示されるようである。

一方 `alert`関数は、警告ダイアログを開いて、それをユーザーが閉じるまで、次の処理に進まない。

JavaScript はプログラムの実行前にエラーを見つけてくれないので、気軽に試せる反面、デバッグがしにくい、という短所がある。問題があったときでも、実行が止まってしまって画面に何も表示されず、そのままでは手がかりが何も得られないことが多い。そういう場合はブラウザーの「コンソール」を表示しておけば、`console.log` 関数の出力のほかに、実行時に表示されるエラーメッセージを見ることができる。

また `alert` や `console.log` 関数呼出しをプログラム中に適宜挿入しておいて実行すると、どこまで実行されたか、どこで実行が止まっているか、などを確認することができる。

1.6 変数と代入

変数

変数は値をいれることができる入れ物に名前をつけたものである。 JavaScript には型チェックはないので、変数の宣言に型の情報は必要なく、 ___ というキーワードで変数を宣言する。このとき次のように「=」の右側に初期値を指定することができる。

```
1 var i = 0;
```

変数の宣言の最後は、セミコロン「;」をつける。ただし、 JavaScript には自動的にセミコロンを挿入する、というありがたい（お節介な）仕様があるので、省略される（忘れる）場合もある。

次のように、複数の変数をコンマ「,」で区切って宣言することも可能である。

```
var i = 0, j = 1, k;
```

2015 年の ECMAScript 6 (ES6) からはさらに ____, **const** という 2 つのキーワードが追加された。このうち、**let** はブロックスコープの局所変数を宣言する。つまり、**let** というキーワードで宣言された変数は、その周りのブレース（{ ～ }）の間でのみ有効である。

ファイル let.js

```
var x = 99;
{
  let x = 1;
  console.log("x = ", x);
}
console.log("x = ", x);
```

このプログラムは、

```
x = 1
x = 99
```

とコンソールに出力する。

一方、**const** はブロックスコープの代入不可の変数を宣言する。つまり、代入して値を変えようとすると、実行時にエラーになる。

ファイル const.js

```
const x = 2;
console.log("x = ", x);
x = 99;
console.log("x = ", x);
```

このプログラムは、x の値を変更しようとするとエラーになるので、「x = 2」とコンソールに出力した時点で止まってしまい、「x = 99」は表示されない。

変数名の規則

JavaScript の変数名の中に使える文字は、大文字と小文字のアルファベット（a～z, A～Z）、数字（0～ 9）、アンダースコア「_」、ドル記号「$」である。このうち、数字は先頭の文字としては使えない。ドル記号「$」は、プログラムが自動的に生成する変数名などに使うことを意図されているようで、あまり人が書くプログラムには使われない。

他のユニコードの文字、例えば、ギリシャ文字（「Σ」,「π」など）、かなや漢字なども変数名に使うことができるが、あまり使われていない。残念ながら絵文字は変数名には使えないようである。

アルファベットの大文字と小文字は________ので abc と ABC は異なる変数である。

算術演算子

四則演算の「+」、「-」、「*」、「/」、「%」などの演算子は C 言語や Java とほぼ同じである。それぞれ、足し算、引き算、掛け算、割り算、割り算の余り、を計算する。ただし C や Java と異なり、「/」は整数同士の割り算でも結果は小数になりうる。

ファイル arithmetic.js

```
1 console.log(1 / 2); // 0.5 になる。
```

また、「+」演算子は文字列の連接にも使用できる。

ファイル arithmetic.js

```
2 console.log("2 * 3 is " + (2 * 3) + ".");
```

これは「2 * 3 is 6.」と出力する。上の例で示すように、普通の数学の式と同様、計算の順番を変えるために丸括弧「(」〜「)」を用いる。（波括弧「{」〜「}」や角括弧「[」〜「]」はこの目的には使わない。）しかし、掛け算「*」は足し算「+」より優先なので上の 2 * 3 の周りの丸括弧は省略可能である。

また「**」は累乗の計算をする演算子である（ECMAScript 2016 より取り入れられた。）。この「**」は右結合の演算子である。つまり、右から先に計算する。

ファイル arithmetic.js

```
3 console.log("2 ** 2 ** 3 is " + (2 ** 2 ** 3) + ".");
```

これは $2^{2^3} = 256$ なので、「2 ** 2 ** 3 is 256.」と出力する。（$(2^2)^3 = 64$ ではない。）また、2 ** 2 ** 3 の周りの丸括弧も省略可能である。

代入

変数の値を変更することを代入という。JavaScript では代入には「=」演算子を用いる。「変数 = 式」という式で「=」の左辺の変数の値が右辺の式を計算した結果になる。

一方、変数の値は、変数の名前を書くだけで取り出すことができる。

ファイル varSample1.js

```
1 var x = 2, y = 3;
2 x = x + y;
3 y = x - y;
4 x = x - y;
5 console.log("x = ", x, ", y = ", y);
```

このプログラムは、「x = 3, y = 2」と出力する。

複合代入演算子

また、「+=」、「-=」のような演算子は算術演算と代入を同時に行う演算子で、例えば x += y は x = x + y を表す。上のプログラム例は次のように書き直すことができる。

ファイル varSample2.js

```
var x = 2, y = 3;
x += y;
y *= -1;
y += x;
x -= y;
console.log("x = ", x, ", y = ", y);
```

インクリメントとデクリメント

JavaScript では「++」、「--」のような演算子もよく使われる。「++」は変数に 1 だけ加算（__________）する演算子、「--」は変数から 1 だけ減算（__________）する演算子である。x++ は x = x + 1、y-- は y = y - 1 と（ほとんど）同じ意味である。

1.7 DOM の操作

Document Object Model (_____) は HTML ページのような文書の構造をオブジェクトとして表現したものである。HTML ページから読み込まれた JavaScript のプログラムは定義済みのグローバル変数を通して DOM を操作することによって、 HTML ページの内容を読み込んだり、書き換えたりすることができる。特に document や window は、役に立つ多くのプロパティーとメソッドを持つ。まず、document は現在のページを表すオブジェクトであり、window は現在のページを含むウインドウ（あるいはタブ）を表すオブジェクトである。

その他のグローバル変数については、MDN の Window インターフェイスに関するページ に説明されている。

DOM の使用例

次の例:

ファイル hello.html

```
  <p id="para">Hello!</p>
  <script>
    const para  = document.getElementById("para");
    para.style.color = "blue";
    para.innerHTML += " Good Night!";
  </script>
```

で使われている document のメソッド getElementById(*id*) は、HTML 要素を id 属性で指定して取得する。この例の場合は、「<p id="para">Hello!</p>」という要素（に対応するオブジェクト）を得ることになる。この要素の style プロパティーは HTML の style 属性に対応する。また、 innerHTML プロパティーは、要素の子孫を文字列としてアクセスする。色 (color) を blue に

変更し、innerHTMLプロパティーに" Good Night!"という文字列を後ろに追加する結果、このHTML要素は「<p id="para" style="color: blue;">Hello! Good Night!</p>」と書いてあったのと同じ結果になる。

この例で示すように、代入演算子「=」はオブジェクトのプロパティーを変更する場合にも使用できる。

以下によく使われるDOMのプロパティーとメソッドの説明とその使用例をあげる。

windowのプロパティー

locationプロパティー
　現在の文書の場所 (URL) を表す。
historyプロパティー
　現在のページが読み込まれているタブで過去に訪れたページの情報を表す。
navigatorプロパティー
　スクリプトを実行しているアプリケーション（ブラウザー）に関する情報を表す。

documentのメソッド

createElementメソッド
　document.createElement(*tagName*) の形で、 *tagName* で示されるHTML要素を生成する。
createTextNodeメソッド
　document.createTextNode(*str*) の形で、 新しい Text ノードを生成する。「<」「&」 などのHTMLで特殊な意味を持つ文字をエスケープするために利用できる。

要素 (Element) のメソッド

appendメソッド
　element.append(*something*) の形で、*element* の最後の子のあとに *something* を挿入する。*something* は、 Element（正確には Node）か文字列である。文字列の場合は、Text ノードとして挿入される。
prependメソッド
　element.prepend(*something*) の形で、*element* の最初の子のまえに *something* を挿入する。
appendChildメソッド
　element.appendChild(*child*) の形で、*element* の最後の子のあとに *child* を挿入する。*child* は Element である。
insertBeforeメソッド
　element.insertBefore(*child*, *sibling*) の形で、 *element* の子の *sibling* の直前に *child* を挿入する。
insertAdjacentHTMLメソッド
　element.insertAdjacentHTML(*position*, *str*) は、 *str* をHTMLとして構文解析し、その結果のノードを *element* の *position* で示される位置に挿入する。*position* は次のうちのどれかである ('beforebegin', 'afterbegin', 'beforeend', 'afterend')。

ここで、append メソッドと appendChild メソッドは似ているが、基本的には append が新しいメソッドで便利なので、これを使えば良い。ただし、Internet Explorer など古いブラウザーは append メソッドに対応していないなど、互換性にやや難がある。

ファイル domSample.html

```
 7    <p id="para"></p>
 8    <script>
 9      const para     = document.getElementById("para");
10      const newElem = document.createElement("a");
11      newElem.href = "https://ja.wikipedia.org";
12      newElem.innerHTML = "Wikipedia";
13      para.append(newElem);
14      const newText = document.createTextNode(
15        "<a href='https://github.com'>GitHub</a>");
16      para.append(newText);
17      para.insertAdjacentHTML('beforeend',
18        "<a href='https://google.com'>Google</a>");
19      para.prepend(document.createElement("br"));
20      const code = document.createElement("code");
21      code.innerHTML = "1 + 2 + 3";
22      para.appendChild(code);
23      const newSpan = document.createElement("span");
24      newSpan.style.color = "green";
25      newSpan.innerHTML = "WWW";
26      para.insertBefore(newSpan, newText);
27    </script>
```

この例は結局、次のような HTML を書いたのと同じ結果になる。（読みやすいように改行は追加している。）

```
1 <p id="para">
2   <br>
3   <a href="https://ja.wikipedia.org">Wikipedia</a>
4   <span style="color: green;">WWW</span>
5   &lt;a href='https://github.com'&gt;GitHub&lt;/a&gt;
6   <a href="https://google.com">Google</a>
7   <code>1 + 2 + 3</code>
8 </p>
```

その他のメソッドについては、MDN の DOM に関するページ の Document, Element, Node, Text などのリンク、HTML DOM API のページの HTMLElement, HTMLInputElement などのリンクから調べられる。また、実際にページに表示することなしに HTML や SVG のソースコードの構文解析が必要な場合は DOMParser API を利用することができる。

CSS プロパティー

HTML 要素の style プロパティーから CSS プロパティーを操作することができる。以下に、このプリントで使用する可能性のある style のプロパティーを挙げる。 なお、これらの例でわかるように、 font-family や white-space のような、ハイフン「-」を含む CSS のプロパティーは JavaScript のプロパティー名としては、ハイフン「-」を除いて、その直後の文字を大文字にして fontFamily, whiteSpace のようにする。

color プロパティー
: 文字などの色を指定する。

backgroundColor プロパティー
: CSS の background-color プロパティーに対応する。要素の背景色を指定する。

fontFamily プロパティー
: CSS の font-family プロパティーに対応する。フォントファミリー名を指定する。

fontSize プロパティー
: CSS の font-size プロパティーに対応する。フォントのサイズを指定する。

display プロパティー
: 要素の表示方法を指定する。block, inline, none などを指定できる。特に none にすると、非表示となり、レイアウトにも影響を与えなくなる。

visibility プロパティー
: 要素の表示 (visible)/非表示 (hidden) を指定する。 特に hidden にすると、表示はされないがレイアウトには表示されているのと同様に影響を与える。

borderStyle プロパティー
: CSS の border-style プロパティーに対応する。境界線の線のスタイルを指定する。 solid, dotted, dashed, ... などを指定できる。

listStyleType プロパティー
: CSS の list-style-type プロパティーに対応する。箇条書きのマーカーを設定する。 disc, circle, square, decimal, lower-roman, upper-roman, lower-latin, upper-latin, ... などを指定できる。

whiteSpace プロパティー
: CSS の white-space プロパティーに対応する。要素内の空白をどう扱うかを指定する。 normal, nowrap（行を折り返さない）, pre（連続する空白はそのまま残す）, ... などを指定できる。

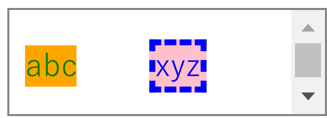
これらのプロパティーは null あるいは空文字列 "" を代入することで、リセットする（つまり何も設定されていない状態に戻す）ことができる。

以下にこれらのプロパティーの使用例を紹介する。

ファイル cssSample.html

```
 7  <p><span id="span1">abc</span>
 8     <span id="span2">lmn</span>
 9     <span id="span3">xyz</span></p>
10  <script>
11    const span1 = document.getElementById("span1");
12    span1.style.color           = "green";
13    span1.style.backgroundColor = "orange";
14    const span2 = document.getElementById("span2");
15    span2.style.visibility      = "hidden"
16    const span3 = document.getElementById("span3");
17    span3.style.color           = "blue";
18    span3.style.backgroundColor = "pink";
19    span3.style.borderStyle     = "dashed";
20  </script>
```

これは次のように表示される。



その他の CSS プロパティーについては、 MDN の CSS リファレンスのページなどから調べられる。

CSS セレクターを用いるメソッド

HTML 要素の取得には、他に `document.querySelector(`*`selectors`*`)` や `document.querySelectorAll(`*`selectors`*`)` というメソッドが便利である。ここで *`selectors`* は CSS セレクターを表す文字列である。CSS セレクターは HTML 中の要素を指定するための書式である。前者は、CSS セレクターに＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿を返し、後者は CSS セレクターに＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿を返す。

次のプログラム例:

ファイル querySelector.html

```
 7 <ol>
 8   <li>トマト</li>
 9   <li>キュウリ</li>
10   <li>かぼちゃ</li>
11 </ol>
12 <ul>
13   <li>ハマチ</li>
14   <li>マグロ</li>
15   <li>カンパチ</li>
16   <li>サーモン</li>
17 </ul>
18 <script>
19   const elms = document.querySelectorAll("ul > li");
20   for (let i = 0; i < elms.length; i++) {
21     const elm = elms[i];
22     if (i % 2 == 1) {
23       elm.style.listStyleType = "square";
24     } else {
25       elm.style.listStyleType = "circle";
26     }
27   }
28 </script>
```

では、`"ul > li"` というセレクターが `ul` の直下の `li` 要素を示すので、`ul`（`ol` ではなく）の直下の `li` 要素だけが、`list-style-type` を変更されている。（配列や for 文に関しては、後で説明する。）

よく使われると思われる CSS セレクターには以下のようなものがある。

a, span, `li` など
　　指定された型の要素

`.`*`classname`*
　　クラス *`classname`* を持つ要素

`#`*`idname`*
　　`id` 属性が *`idname`* の要素

`A B`
: `A` で選択される要素の子孫で `B` で選択される要素

`A > B`
: `A` で選択される要素の直接の子で `B` で選択される要素

`A + B`
: `A` で選択される要素の直後にある `B` で選択される要素

詳しくは MDN の CSS セレクターのページから調べることができる。

また、`querySelector` メソッド、`querySelectorAll` メソッドは、`document` だけではなく、要素にも用意されていて、その要素の子孫で条件を満たす要素を返すことができる。

ファイル querySelector2.html

```
 7 <ol id='veges'>
 8   <li>トマト</li>
 9   <li class='foo'>キュウリ</li>
10   <li>かぼちゃ<span class='foo'>!?</span></li>
11 </ol>
12 <ul id='fish'>
13   <li>ハマチ</li>
14   <li class='foo'>マグロ</li>
15   <li>カンパチ</li>
16   <li class='foo'>サーモン</li>
17 </ul>
18 <script>
19   const veges = document.getElementById("veges");
20   for (const elm of veges.querySelectorAll(".foo")) {
21     elm.style.color = "green";
22   }
23 </script>
```

この例では `id='veges'` の要素の子孫で `foo` クラスを持つ要素だけが緑色になる。

1.8 関数

関数は、繰返し使用するプログラムの一部の命令列を部品として、再利用できるようにしたものである。

関数の定義

関数の定義の書き方も C 言語と良く似ているが、JavaScript では戻り値の型を書く必要がないので、C 言語で関数の戻り値の型を書く部分に、キーワード ＿＿＿＿＿ を用いるところだけが異なる。また、仮引数の型を宣言する必要もない。戻り値を表す `return` 文の書き方も C 言語と同じである。

一般的に、関数の定義は次のような形をしている。

function 関数名 (変数$_1$, … , 変数$_m$) { 文$_1$ … 文$_n$ }

この関数を実行する（呼出す）には 関数名 (式$_1$, … , 式$_m$) という形で使う。このとき、式$_1$ ～ 式$_m$ の値が 変数$_1$ ～ 変数$_m$ にそれぞれ代入され、文$_1$ ～ 文$_n$

が順に実行される。この変数$_1$ 〜 変数$_m$ のことを______(parameter) と呼ぶ。

return 文

分類	一般形	補足説明
return 文	return 式 ;	値を返す場合
	return ;	値を返さない場合

return 文は関数の呼出し元に値を返す。つまり、プログラムの実行が関数の呼出し元に戻り、 return 文の式の値が、関数呼出し式の値になる。

関数本体の最後の「}」にたどり着いた時も、プログラムの実行は関数の呼出し元に戻る。

例えば、次の例は 3 乗を計算する関数 cube である。

ファイル cube.js

```
1 // JavaScript
2 function cube(n) {
3   return n * n * n;
4 }
```

ファイル cube.c

```
3 /* （参考）C 言語 */
4 double cube(double n) {
5     return n * n * n;
6 }
```

この関数を使用する例は次のようになる。

```
1 console.log("4 の 3 乗は ", cube(4)); // 4 の 3 乗は 64
```

匿名関数

JavaScript では無名の関数 (anonymous function) を式として使うことができる。次のような形を用いる。

```
function (変数1, …, 変数m) { 文1 … 文n }
```

つまり、**function** というキーワードと括弧の間に関数名が入らない。このような匿名関数は変数やオブジェクトのプロパティーに代入したり、関数呼出しの引数として渡したりすることができる。

アロー関数

ES6 から匿名関数をさらに短く書けるアロー関数という構文が用意された。（厳密に言うと、単なる構文の違いではなく、this というキーワードの指す オブジェクトが異なる、など意味の違いもある。）

分類	一般形	補足説明
アロー関数	(変数$_1$, …, 変数$_m$) => { 文$_1$ … 文$_n$ }	
	(変数$_1$, …, 変数$_m$) => 式	

記号「=>」をアロー (arrow) と読んでいる。下の段の形は `(変数1, …, 変数m) => { return 式; }` の省略形である。また、仮引数が一つだけのときは周りの丸括弧を省略することができる `変数 => …`。逆に無引数のときは `() => …` のように中が空の丸括弧を書かなければいけない。

1.9 イベントリスナー

DOM オブジェクトに、イベント発生時に呼び出される関数を登録することができる。このような関数を ________ (event listener) あるいはイベントハンドラー (event handler) という。

イベントリスナーの登録には、特定のプロパティーに関数をセットする方法、addEventListener(...) というメソッドを利用する方法などがある。

onclick プロパティー

ボタンやリンクなどがクリックされたときに呼ばれるメソッドをセットするプロパティーである。次の例では、ボタンをクリックしたとき、"Hello!" と表示するダイアログが現れる。

ファイル onclick.html

```
 9    <button id="btn">click!</button>
10    <script>
11      const btn = document.getElementById("btn");
12      btn.onclick = () => alert("Hello!");
13    </script>
```

addEventListener メソッド

プロパティーにセットする方法では、一つのメソッドしか登録できないが、addEventListenerメソッドを使うと、次の例のように複数のイベントリスナーを登録することもできる。また、ボタンをクリックしたときに発生するイベントは ______ である。

ファイル addEventListener.html

```
 9  <button id="btn">click!</button>
10  <p id="para">Hello!</p>
11  <script>
12    const btn = document.getElementById("btn");
13    const para = document.getElementById("para");
14    btn.addEventListener("click",
15                         () => alert("Hello!"));
16    btn.addEventListener("click",
17                         () => para.innerHTML += "!");
18  </script>
```

value プロパティー

HTML の <input> タグに入力された値を JavaScript から取り出すときは value というプロパティーを使用する。また parseInt は文字列を整数に変換するメソッドである。そして <input> の値が変更されたときのイベントは ______ である。

ファイル factorial.html

```
 9  <input type="number" id="num" value="1">
10  の階乗は <span id="result">1</span>
11  <script>
```

```
12    const num = document.getElementById("num");
13    num.addEventListener("change", () => {
14      const n = parseInt(num.value);
15      let i, r = 1;
16      for (i = 1;  i <= n; i++) {
17        r *= i;
18      }
19      document.getElementById("result").innerHTML = r;
20    });
21  </script>
```

DOMContentLoaded イベント、load イベント

これまでの例のように JavaScript から getElementById メソッドなどを使って要素を取得する場合、HTML 中でその要素が定義されたあとに script タグを入れる必要があった。

しかし、script タグが HTML のどこにあっても、要素が正常に取得できることが望ましい。この場合、次の例のように document の ________________ というイベントにリスナーをセットして、ページの DOM の読込みが終わったときに実行されるようにしておく。（window の _____ という、画像やスタイルシートなどすべてが読み込まれたときに発生するイベントを利用するときもある。）

ファイル script.html

```
 1  <!DOCTYPE html>
 2  <html>
 3  <head>
 4    <meta charset="utf-8"/>
 5    <script src="script.js"></script>
 6  </head>
 7  <body>
 8    <button id="btn">click!</button>
 9    <p id="para">Hello!</p>
10  </body>
11  </html>
```

ファイル script.js

```
1  document.addEventListener("DOMContentLoaded", () => {
2    const btn  = document.getElementById("btn");
3    const para = document.getElementById("para");
4    btn.addEventListener("click",
5                        () => para.innerHTML += "!");
6  });
```

要素を確実に取得できるようにするためには、ほかに script タグに defer="true" という属性を入れるという方法もある。

```
1    <script src="script.js" defer="true"></script>
```

この場合、スクリプトの読込みはこの時点で開始されるが、スクリプトの実行は、ページの読込みが完了した時点で始まる。

以降のプログラム例では、必要な場合、スクリプトは `document.addEventListener("DOMContentLoaded", () => {` と

`});` に囲まれているか、 `defer="true"` で読み込まれているか、必要な要素のあとで読み込まれている、と仮定する。

`requestAnimationFrame` メソッド

アニメーションに用いられる関数で、画面が再描画される前に呼び出されるコールバック関数を登録する。コールバック関数はミリ秒単位の現在時刻を引数として受け取る。

ファイル requestAnimationFrame.js

```
const p = document.getElementById("para");

function step(ts) {
  // 10 秒で一周
  const th = Math.trunc(ts * 36 / 1000) % 360;
  p.style.color = "hsl(" + th + ", 100%, 50%)";
  p.innerHTML   = th + "°";
  requestAnimationFrame(step); // 間接的に再帰する
}

requestAnimationFrame(step);
```

このプログラムは、再描画のたびに HTML 要素の色と表示する文字列を変更してアニメーションを実現している。`Math.trunc` は、小数を受け取って、それから小数点以下を取り除いた整数を返すメソッドである。

似たような目的で用いられる関数として、一定の間隔で実行されるコールバック関数を登録する ＿＿＿＿＿＿ メソッドや、一定時間経過後に呼び出されるコールバック関数を登録する ＿＿＿＿＿＿ メソッドがある。

テンプレートリテラル

テンプレートリテラル (template literal) は、途中に式を挿入することができる文字列定数である。途中で改行して複数行にまたがることもできる。文字列をバッククォート「`」で囲む。

ファイル templateLiteral.js

```
  const neko = `
   ∧  ∧
/(´Д\`) ノ
          |
`;
  p.style.fontFamily = "'ＭＳ ゴシック',monospace";
  p.style.whiteSpace = "pre";
  p.innerHTML = neko;
```

バッククォート自体を含めるにはバックスラッシュ「\」に続けてバッククォートを書く（「\`」）。

テンプレートリテラルの中には「`${式}`」という形を含むことができる。この式の値が文字列に変換されて、この場所に埋込まれる。先ほどの

requestAnimationFrame に対するプログラム例
（requestAnimationFrame.js）の一部は、次のように書くこともできる。

ファイル requestAnimationFrame2.js

```
7        p.style.color = `hsl(${th}, 100%, 50%)`;
8        p.innerHTML   = `${th}°`;
```

1.10 制御構造

JavaScript の制御構造は やはり C 言語や Java とほとんど同じカタチが用意されている。繰返しの for 文については JavaScript 独自のカタチも追加されている。

if 文

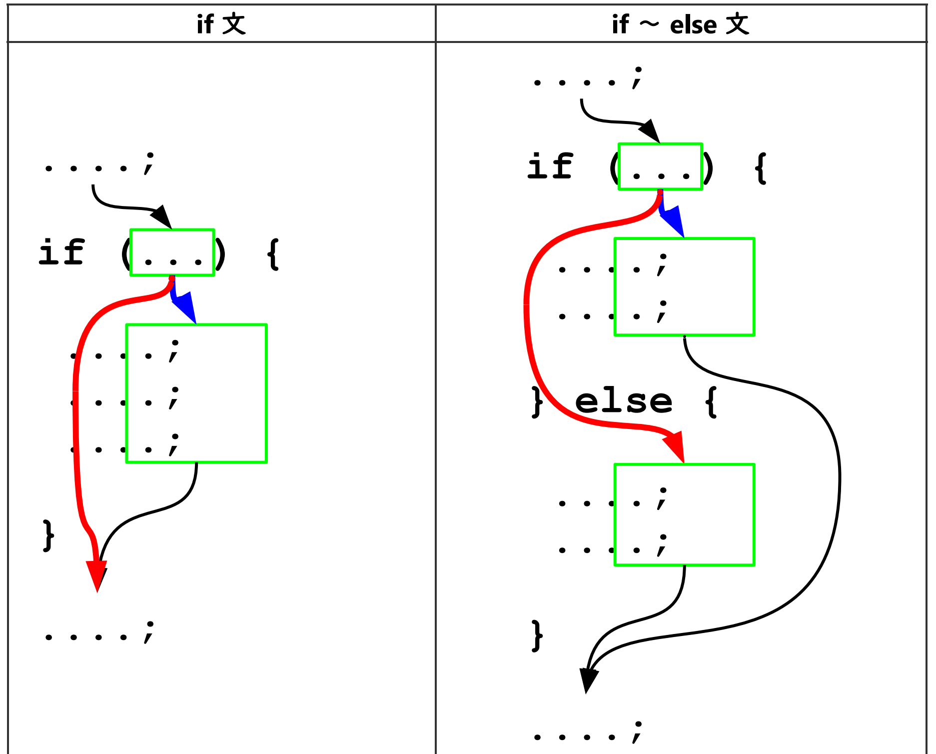
条件判断には次のようなカタチを用いる。

```
if ( 式1 ) 文1
```

式$_1$を評価して、その値が真であれば、 ____ を実行する。式の値が偽であるときは、何もしない

```
if ( 式1 ) 文1 else 文2
```

式$_1$ を評価して、その値が真であれば、 ____ を実行する。式の値が偽であるときは、 ____ を実行する。



等価演算子

「==」は両辺の値が等しければ真を、等しくなければ偽を返す演算子である。「==」と逆に等しくないかどうかを判定する演算子は「___」である。

関係演算子

以下の4つがある。

<	左辺が右辺よりも小さいとき真
>	左辺が右辺よりも大きいとき真
<=	左辺が右辺よりも小さいか等しいとき真
>=	左辺が右辺よりも大きいか等しいとき真

「=<」とか「=>」という演算子は**ない**ので注意する。（「=>」はアロー関数に使用される。）

ブロック（複合文）

文の並びを波括弧 (ブレース —「___」と「___」—)で囲んだものを複合文またはブロックという。(文の前や間にいくつかの宣言があってもよい。) 複合文は構文上単一の文と見なされる。複合文中の文は上 (左) から順に一つずつ実行される。

通常、if 文の制御する文 (後述の while 文、for 文などでも同様)は、たとえ一つの文でも（間違いを避けるため）波括弧で囲んでブロックにする。

△ 望ましくないスタイル	◎ 望ましいスタイル

`if (n1 > n2)`
`    max = n1;`
`else`
`    max = n2;`
	`if (n1 > n2) {`
	`    max = n1;`
	`} else {`
	`    max = n2;`
	`}`

論理演算子

論理演算子は以下のような演算子である。左右非対称である — つまり左オペランドを評価して値が決まれば、__________は評価しない — ことに注意する。（これを短絡評価という。）

演算子	呼び方	説明
&&	論理 AND 演算子 かつ	左オペランドを評価して、偽であれば、 偽を返す。真であれば、 右オペランドを評価してその値を返す。
||	論理 OR 演算子 または	左オペランドを評価して、真であれば その値を返す。偽であれば、 右オペランドを評価してその値を返す。

次の例は if 文を使って、現在時刻にあわせて表示するメッセージを変える。

ファイル if.js

```
2   const now = new Date();      // 現在時刻を取得する
3   const h   = now.getHours(); // 「時」の部分を取り出す
4   let msg;
```

```
  if (h <= 10) {
    msg = "おはようございます";
  } else if (h <= 18) {
    msg = "こんにちは";
  } else {
    msg = "こんばんは";
  }
  const para = document.getElementById("para");
  para.innerHTML = msg;
```

条件演算子

三項演算子とも呼ばれる。 式$_1$? 式$_2$: 式$_3$ の値は 式$_1$ をまず評価して結果が真であれば 式$_2$ を評価した値となる。 式$_1$ が偽であれば、式$_3$ を評価した値となる。上の if.js は次のように書き換えることもできる。

ファイル conditional.js

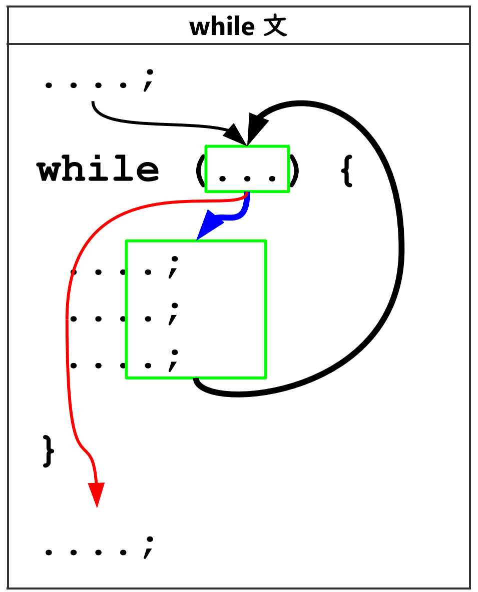
```
  const now = new Date();      // 現在時刻を取得する
  const h   = now.getHours();  // 「時」の部分を取り出す
  const msg =    h <= 10 ? "おはようございます"
              : h <= 18 ? "こんにちは"
              : "こんばんは";
  const para = document.getElementById("para");
  para.innerHTML = msg;
```

while 文

```
while ( 式1 ) 文1
```

式$_1$ が真である限り、____ （ループ本体）の実行を繰り返す。

注: ループ本体が一度も実行されないことがある。



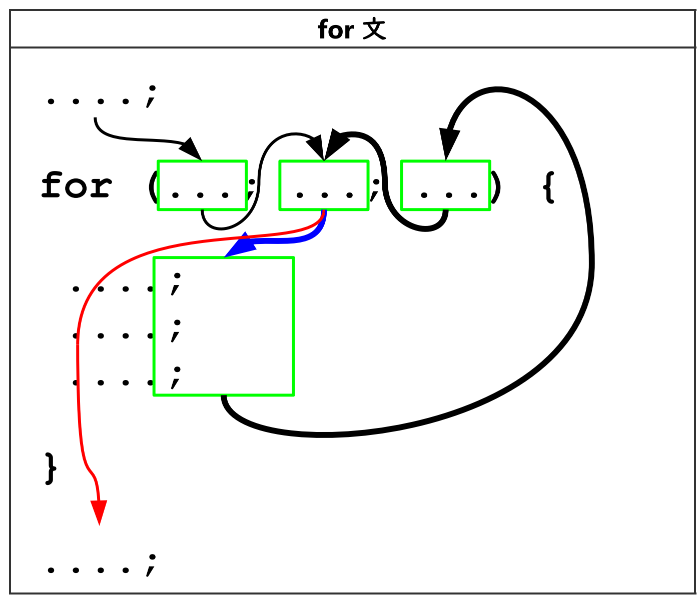
for 文

```
for ( 式1; 式2; 式3 ) 文1
```

ループに入る前にまず＿＿を実行する。
＿＿が真である間、＿＿（ループ本体）と＿＿を繰返し実行する。

> **詳細:** 式$_1$ ～ 式$_3$は省略可能である。 式$_2$を省略したときは、`true` と書くのと同じ意味になる。

for 文



次は、for 文を使って、文字の色を徐々に変える例である。

ファイル for.js

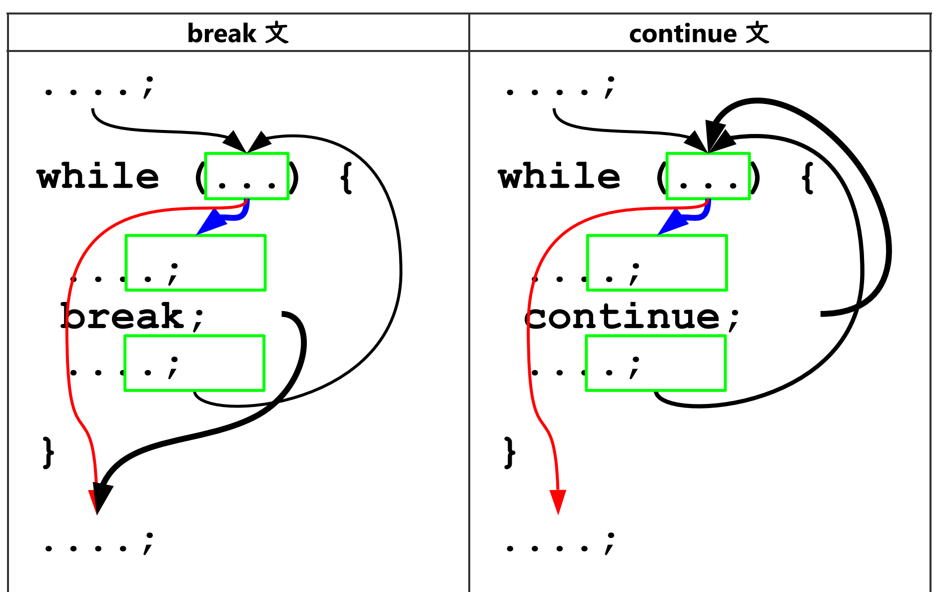
```
2   const para = document.getElementById("para");
3
4   for (let i = 0; i < 24; i++) {
5     const s = document.createElement("span");
6     s.style.color = `hsl(${i * 15}, 100%, 50%)`;
7     s.innerHTML   = "█"; // 直接絵文字を書いても OK
8     para.appendChild(s);
9   }
```

break 文

（もっとも内側の）繰返し文（do ～ while 文, while 文, for 文）を＿＿＿＿＿。
（外側の繰返し文を一気に抜け出ることはできない。）

continue 文

（もっとも内側の）繰返し文のはじめ（do ～ while 文、 while 文の場合は条件式、 for 文の場合は第 3 式）にもどる。



try ～ catch 文

例外処理をするために使われる try ～ catch 文は

`try ブロック`$_1$ `catch （変数） ブロック`$_2$

という形で用いる。

この形は、まずブロック$_1$を実行する。この中でエラーが起こらなければ、そのまま次へ進む。ブロック$_1$の中で例外（エラーと考えて良い）と呼ばれる状況が起こったとき、catch の後ろのブロック$_2$を実行する。"変数"に例外の情報を持つオブジェクトが初期値として渡されてブロックが実行される。

また、最後に `finally ブロック`$_3$ という形（finally節）がつく場合もある。その場合、finallyブロックは例外が起こったか否か、例外がキャッチされたか否か、にかかわらず、必ず実行される。

throw 文

プログラムにより、例外を発生させるには throw 文を用いる。 `throw 式;`

1.11 配列

配列の宣言

配列は（同じ種類の）データを集めて、番号（____、そえじ）でアクセスできるようにしたものである。次の例で示すように、各要素をコンマ「,」で区切り、周りを角括弧（「[」～「]」）で囲む

```
1 var colors = ["red", "green", "yellow", "cyan"];
```

分類	一般形	補足説明
配列アクセス	式 [式]	a[1],b[2][3] など

配列の各要素は 配列名[式] でアクセスする。「[」と「]」の式を添字という。 JavaScript の配列の有効な添字は＿＿から始まる。

for ～ of 文

```
for ( 変数1 of 式1 ) 文1
```

式$_1$ は配列（などの物の集まりを表すデータ）で、 変数$_1$ を集まりの各要素に割り当てて、＿＿の実行を繰り返す。

ファイル forOf.js

```
 2  const para = document.getElementById("para");
 3
 4  const colors = ["pink", "gold", "olive", "aqua"];
 5  for (const c of colors) {
 6    const s = document.createElement("span");
 7    s.style.color = c;
 8    s.innerHTML   = c;
 9    para.appendChild(s);
10    para.append(', ');
11  }
```

この例では、変数 c が "pink", "gold", "olive", "aqua" の 4 つの値になって、繰り返し部分を繰り返す。

配列のプロパティー・メソッド

配列のプロパティー＿＿＿＿は配列の要素数を表す。 C 言語や Java の配列と違って、JavaScript の配列は自由に伸び縮みすることができる。配列に対して次のようなメソッドが用意されている。

push メソッド
: *arr*.push(e_1, e_1, …) の形で配列 *arr* の末尾に要素 e_1, e_2, … を追加する。

pop メソッド
: *arr*.pop() の形で配列 *arr* の末尾の要素を取り除き、その要素を返す。

unshift メソッド
: *arr*.unshift(e_1, e_1, …) の形で配列 *arr* の先頭に要素 e_1, e_2, … を追加する。

shift メソッド
: *arr*.shift() の形で配列 *arr* の最初の要素を取り除き、その要素を返す。

sort メソッド
: *arr*.sort(*e*) の形で配列 *arr* を昇順にソートする。

join メソッド
: *arr*.join(*str*) の形で配列 *arr* の要素を連結した文字列を返す。 区切り文字は *str* である。

indexOf メソッド
: *arr*.indexOf(*e*) の形で配列 *arr* の中で *e* と同じ要素が最初に現れる添字を返す。現れない場合は -1 を返す。

at メソッド

arr.at(*n*) の形で配列 *arr* の添字 *n* の位置の要素を返す。 特に *n* が負の値のときは末尾からカウントする

ファイル array.js

```
15    addColorSample(p, colors);
16    colors.push("pink");          // 末尾に追加する
17    const c1 = colors.shift(); // 先頭を削除する
18    const c2 = colors.pop();    // 末尾を削除する
19    colors.unshift("fuchsia"); // 先頭に追加する
20    colors.push(c1);
21    colors.unshift(c2);
22    addColorSample(p, colors);
23    colors.sort();                // 辞書順にソートする
24    addColorSample(p, colors);
25    p.append("{ ", colors.join(", "), " }");
26    p.appendChild(document.createElement("br"));
27    p.append(`pink は ${colors.indexOf("pink")} 番目`);
28    p.appendChild(document.createElement("br"));
29    p.append(colors.at(-2));
```

ちなみに addColorSample は次のように定義した関数である。

ファイル array.js

```
 1  function addColorSample(elem, cs) {
 2    for (const c of cs) {
 3      const s = document.createElement("span");
 4      s.style.color = c;
 5      s.innerHTML = c;
 6      elem.appendChild(s);
 7      elem.append(", ");
 8    }
 9    elem.appendChild(document.createElement("br"));
10  }
11
```

多次元配列

配列の配列は多次元配列とも呼ばれる。例えば次のように二次元配列を定義することができる。

ファイル array2d.js

```
 2    const board = [["blue", "lightgray", "red"],
 3                   ["black", "yellow", "red"],
 4                   ["orange", "ivory", "green"]];
 5
 6    const ta = document.getElementById("ta");
 7    for (let i = 0; i < board.length; i++) {
 8      const row = document.createElement("tr");
 9      ta.append(row);
10      for (let j = 0; j < board[i].length; j++) {
11        const c = board[i][j];
12        row.insertAdjacentHTML("beforeend",
13          `<td style="color: ${c};">█</td>`);
14      }
15    }
```

配列の配列の各要素には角括弧を 配列名[式$_1$][式$_2$] のようにつなげて書くことでアクセスすることができる。（上の例は for 〜 of 文を使うことで角括弧を使わずに書くこともできる。）

配列に対する高階関数

配列に対して、便利なので高階関数（関数を引数に取る関数）が、いくつか用意されている。

なかでも map, filter, flatMap, reduce などがよく使われる。`xs.map(f)` は、配列 xs の各要素に関数 f を適用した結果を要素とする新しい配列である。`xs.filter(p)` は、配列 xs の各要素のうち、関数 p を適用した結果が真となる要素だけからなる新しい配列である。`xs.flatMap(f)` は、配列 xs の各要素に関数 f を適用した結果を連接した新しい配列である。次にこれらの関数を使ったプログラム例を示す。

ファイル higherOrderFunction.js

```
function addColoredText(elm, c, txt) {
  const s = document.createElement("span");
  s.innerHTML = txt;
  s.style.color = c;
  elm.appendChild(s);
}

window.addEventListener("load", () => {
  const para = document.getElementById("para");

  const xs = [0, -10, 24, 182, 37, 652, -76, 93];
  const ys = xs.filter(x => 0 <= x && x <= 360);
  const zs = ys.map(x => `hsl(${x}, 100%, 50%)`);
  para.append(ys);
  para.appendChild(document.createElement("br"));
  zs.map(c => addColoredText(para, c, "@"));
  para.appendChild(document.createElement("br"));
  const ws = [128, 255].flatMap(r =>
             [85, 170, 255].flatMap(g =>
             [64, 128, 192, 255].map(b =>
             `rgb(${r}, ${g}, ${b})`)));
  para.append(ws);
  para.appendChild(document.createElement("br"));
  ws.map(c => addColoredText(para, c, "#"));
});
```

分割代入

ES6 から、代入の左辺に要素が変数になっている配列を書くことができるようになった。これを________(destructuring assignment) という。対応する位置にある値が、変数に代入される。

ファイル destructuring.js

```
  const cs = ['red', 'yellow', 'green', 'blue'];
  let [x, y, ...rest] = cs;   // x が 'red'、
  // y が 'yellow'、rest が [ 'green', 'blue' ]
  [y, x] = [x, y];            // x と y の入れ替え
```

ここで ... は＿＿＿＿＿(rest parameters) という構文で、上の例では、x, y に割り当てられなかった、残りの配列の要素が rest という配列にまとめられる。

スプレッド構文

逆に ... を配列の初期値が並ぶ中などで使う形を＿＿＿＿＿＿＿＿(spread syntax) と呼ぶ。 ... の後に式を書いて、配列などの中に別の配列などを展開することができる。

ファイル spreadSyntax.js

```
2  const fruits = ["apple", "banana", "orange"];
3  const veges  = ["tomato", "lettuce"];
4  const foods  = [...veges, "tofu", ...fruits];
```

この例では、foods の値は ["tomato", "lettuce", "tofu", "apple", "banana", "orange"] になっている。

1.12 オブジェクト

オブジェクトリテラル

オブジェクトリテラル (object literal) はオブジェクトの表現の一つで、プロパティー名とその値をコロン「:」で区切って対にしたものを、コンマ「,」区切りにして並べ波括弧「{」〜「}」で囲んだものである。

```
1 var pt = { x: 9, y: 11, z: -2 };
```

これで pt.x が 9, pt.y が 11, pt.z が -2 になる。

オブジェクトリテラルを左辺とする分割代入も可能である。ただし、ブロックを書いてもよい箇所（つまり、ほとんどの箇所）で使うときは、ブロックの開始と混同しないように、適宜代入式を丸かっこで囲む必要がある。

```
1 ({ x: tx, y: ty } =  pt); // tx が 9, ty が 11 になる
```

this

関数定義の中の this は基本的には“メソッドを所有しているオブジェクト自身”を指す。つまり、 obj.foo(a_1, a_2, …) という形で foo が呼び出されたとき、 foo の定義の中の this は obj を指している。

ファイル this.js

```
4  const obj = {
5    a: "abc",
6    foo: function() {
7      return this.a;
8    }
9  };
```

```
10  const q = obj.foo(); // "abc"
```

アロー関数 `... => ...` の中での this は、アロー関数が定義されている場所の周囲の this と同じである。

また bind というメソッドは、与えられた関数の this の値を固定した新しい関数を返す。

ファイル this.js

```
12  const obj2 = { a: "xyz" };
13  const foo2 = obj.foo.bind(obj2);
14  const q2   = foo2(); // "xyz"
```

上で述べた場合以外での this の使用は、わかりにくい可能性があるので注意する必要がある。

1.13 その他のデータ型

正規表現 (regular expression)

正規表現は連接・選択・反復の 3 つの基本演算で文字列の集合を表す手法である。詳しくは MDN の正規表現に関するページに説明されている。

JavaScript の正規表現リテラルは＿＿＿＿＿＿「/」で囲まれた部分である。後ろの「/」のあとにいくつかのフラグ (flag) をつけることがある。例えば、「g」は、最初のマッチだけではなく、最後まで検索することを示す。また、「i」は大文字・小文字を区別しないことを示す。

文字列の replace メソッドは、文字列中の正規表現にマッチした部分を、置換文字列に置き換えた新しい文字列を返す。置換文字列の中の、$1, $2, ... などは、正規表現のなかの 1 番目、2 番目、... の丸括弧内にマッチした部分に置き換わる。

ファイル regexp.js

```
 2  const p   = document.getElementById("para");
 3  const pat = /Name: +([A-Za-z]+) +([A-Za-z]+)/g;
 4  const out = 'Name: <span style="font-variant: small-caps;">$2</span>, $1';
 5  const source = `
 6  Name: Masaya Otsuki
 7  Age:  22
 8  City: Takamatsu
 9
10  Name: Yasuhiro Komoto
11  Age:  36
12  City: Kyoto
13
14  Name: Maya Usui
15  Age:  40
16  City: Matsue
17  `;
18  const result = source.replace(pat, out);
19  p.style.whiteSpace = 'pre';
```

```
20    p.innerHTML = result;
```

このプログラムは「Name:」のあとの「名 姓」を「姓, 名」に置き換え、姓の部分を Small Caps にする。つまり、“Masaya Otsuki” を“Otsuki, Masaya” に置き換える。

正規表現が文字列にマッチするかどうかだけを知りたいときは、正規表現の test メソッドを用いる。

```
1  const regex = /[0-9]+/;
2  console.log(regex.test("shibuya109")); // true
3  console.log(regex.test("Hayashi"));     // false
```

文字列 (String) のメソッド

文字列 (String) に関する便利なメソッドをいくつか紹介する。詳しくは MDN の String に関するページに説明されている。

charAt メソッド
: 文字列の n 文字目を取り出す。例えば "abcd".charAt(2) は ____ になる。

substring メソッド
: *str*.substring(*mn*) は文字列*str*の *m* 文字めから *n* - 1 文字めまでの部分文字列を取り出す。 例えば "Takamatsu".substring(2, 5) は ______ になる。

match メソッド
: 文字列のなかで正規表現にマッチする部分を取り出す。例えば "akb48 boeing787".match(/[0-9]+/g) は ______________ になる。

split メソッド
: 文字列を指定した区切り文字列で分割する。例えば "03-1234-5678".split("-") は ________________________ になる。

また split メソッドの逆に、文字列の配列から区切り文字列を指定して、一つの文字列を生成するには、配列の join メソッドを用いる。例えば ["pen", "pineapple", "apple", "pen"].join("-") は ________________ ___________ になる。

1.14 ジェネレーター

ES6 よりジェネレーター (generator) 関数という機構が導入された。ジェネレーター関数はコルーチンの一種 (stackless coroutine) を提供する。コルーチンは、関数とは異なり、二度目以降の呼出しのとき、直前の呼出しの続きから実行を開始する。

ジェネレーター関数は __________ というキーワードで定義される。次の例はフィボナッチ数列を生成するジェネレーター関数である。

ファイル generator.js

```
1  function* gfib(n) {
2    let a = 1, b = 1;
3    while (a < n) {
```

```
 4      yield a;
 5      let tmp = b;
 6      b += a;
 7      a = tmp;
 8    }
 9  }
```

ジェネレーター関数の内部では ______ というキーワードを使って値を生成する。

ジェネレーター関数を呼び出すと、すぐに関数内部のコードが実行されるのではなく、一旦、ジェネレーター (generator) オブジェクトが作られて返される。このジェネレーターオブジェクトの next メソッドを呼び出すと、ジェネレーター関数内部のコードが実行され、yield された値をvalue プロパティーとして持つオブジェクトを返す。さらに next メソッドを呼び出すと yield 式の続きから実行が再開され、やはり、次の yield された値を value プロパティーとして持つオブジェクトを返す。

ファイル generator.js

```
14    const gen = gfib(100);
15    para.append(gen.next().value);   // 1 を出力する
16    para.append(", ");
17    para.append(gen.next().value);   // 1 を出力する
18    para.append(", ");
19    para.append(gen.next().value);   // 2 を出力する
20    para.append(", ");
21    para.append(gen.next().value);   // 3 を出力する
```

ジェネレーターオブジェクトは for ～ of 文の中でも使うことができる。

for ～ of 文 はジェネレーターオブジェクト（より一般的には iterable オブジェクト）の next メソッドによって返されるオブジェクトのvalue プロパティーを変数に代入してループする。ジェネレーター関数の中のコードの実行が return するか、ジェネレーター関数の本体を抜けるとループを終了する。

ファイル generator.js

```
24    for (const v of gfib(10)) {
25      para.append(v); // 1, 1, 2, 3, 5, 8 を出力する。
26      para.append(", ");
27    }
```

次のコードは素数列 (______________) を生成するジェネレーターである。

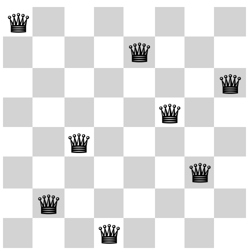
ファイル primes.js

```
 1  function* from(n) {
 2    while (true) {
 3      yield n;
 4      n++;
 5    }
 6  }
 7
 8  function* sieve(n, gen) {
 9    for (const m of gen) {
10      if (m % n != 0) yield m;
11    }
```

```
12 }
13
14 function* primes() {
15   let gen = from(2);
16   while (true) {
17     const next = gen.next().value;
18     yield next;
19     gen = sieve(next, gen);
20   }
21 }
```

このジェネレーターは「エラトステネスのふるい」というアルゴリズムを実装している。 from(*n*) は単に $n, n + 1, n + 2, \dots$ という、1 ずつ増加する数列を生成するジェネレーターである。sieve(n, gen) は gen というジェネレーターが生成する数列から n の倍数を除いた数を生成するジェネレーターになる。

最後にパズルを解くためにジェネレーターを使っている例を挙げる。次の例はエイト・クイーンという有名なパズルの解を計算する。 8×8 のチェス盤の上に 8 つのクイーンを、どの駒も他の駒に取られないように配置する。このプログラムでは解を配列で表している。例えば [1,5,8,6,3,7,2,4] は第1行の第1列、第2行の第5列、第3行の第8列、…という解で次のような配置を表す。



ファイル queens.js

```
 1 function safe(arr, k) {
 2   const len = arr.length
 3   for (let i = 0; i < len; i++) {
 4     const v = arr[i];
 5     if (v == k
 6      || v + len - i == k
 7      || v - len + i == k) {
 8         return false;
 9     }
10   }
11   return true;
12 }
13
14 function* queens(n) {
15   if (n == 0) {
16     yield [];
17   } else {
18     const sofar = queens(n - 1);
19     for (const ans of sofar)  {
20       for (let k = 0; k < 8; k++) {
21         if (safe(ans, k)) {
22           yield [...ans, k];
23         }
24       }
25     }
26   }
27 }
```

`safe(arr, n)` は `arr.length` 行目まで与えられている配置 `arr` に新しく `(arr.length + 1, n)` のマスに新しくクイーンを置いて安全かどうか、を表す関数である。

`queen(n)` は `n - 1` 行目までの安全な配置を `queen(n - 1)` で再帰的に求めて、`n` 行目の安全な配置を生成する。

1.15 モジュール

2015 年に制定された ECMAScript 6 からモジュールという仕組みが追加された。他のプログラミング言語にはよくある、このような仕組みを JavaScript は長い間公式には持っていなかった。これにより、大きなプログラムをモジュールという単位に分割し、必要に応じて読み込むことができるようになった。また、重複して同じコードを読み込むことが防がれるようになった。

モジュールを HTML から読み込むときは `script` タグに `type="module"` と指定する。JavaScript でモジュールの機能を利用するためには export 文と import 文を使用する。

export 文

関数やクラスの定義や変数の宣言の前に `export` というキーワードをつける。その関数や変数は、モジュールの外部に公開される。

```
1 export const foo = 41;
2 export function bar(n) {
3   return n * n;
4 }
```

または、モジュールファイルの最後に、export 文を書いて、いくつかの関数や変数を一度に公開することもできる。

```
 1 const foo = 41;
 2 
 3 function bar(n) {
 4   return n * n;
 5 }
 6 
 7 function baz(m) {
 8   return m * m * m;
 9 }
10 
11 export { foo, bar, baz };
```

import 文

他のモジュールで公開されている関数などを利用する場合は import 文でインポートする必要がある。例として `./module/foobar.js` という場所にあるファイルで定義されているモジュールをインポートするとする。次のような import 文を使うと `foo`, `baz` が利用できる。

```
import { foo, baz } from './module/foobar.js';
```

このようにインポートされた関数や変数は、同じファイルで定義された関数や変数と同様に使用できる。

モジュールに関しては他に、 `default` というキーワードを使うデフォルトエクスポートや、キーワード `as` を使う名前の変更、「*」を使ったモジュールオブジェクトなどの話題があるが、ここでは説明を割愛する。必要に応じて MDN の JavaScript モジュールに関するページなどから調べられる。