

1. 要素が小さい順に並んでいる配列 `data` に対して、次の手順で値 `key` を探索し、その位置（添字）を返すメソッドを作成せよ。このアルゴリズムを **2分探索** という。
 - (1) 配列（探索範囲）の中央の値と `key` を比較し、もし等しければ見つかったのでその位置を返す。
 - (2) そうでなければ、大小関係から `key` が配列（探索範囲）の前半と後半のどちらに含まれるか判定し、新しい探索範囲を前半または後半に設定する。
 - (3) (1)~(2)の手順を繰り返し、探索範囲を次々に半分に絞り込んでいき、要素がなくなるまで続ける。

```
public static int binarySearch(int key, int[] data) {  
  
    int left = 0; // 探索範囲の左端  
    int right = data.length - 1; // 探索範囲の右端  
  
    while (left <= right) {  
  
        int mid =  
  
        if (key == data[mid]) {  
  
        } else if (key < data[mid]) {  
  
        } else {  
  
        }  
    }  
    return -1;  
}
```

2. 下記は、1.と同様の処理を**再帰**を用いて記述したものである。ただし 1.とは引数が異なり、配列の中の `data[first]~data[last]`の範囲から値 `key` を探索する。プログラムを完成させ、再帰の仕組みを理解せよ。

```
public static int binarySearchR(int key, int[] data, int first, int last) {  
  
    if ( ) {  
  
        return -1;  
    }  
  
    int mid =  
  
    if (key == data[mid]) {  
  
        return  
    }  
  
    if (key < data[mid])  
        return binarySearchR(key, data, first, );  
    /* else */  
        return binarySearchR(key, data, , last);  
}
```

3. アルファベット順に並んだ文字列に、1.と同様のアルゴリズムを適用するプログラムを完成させよ。なお、Java ではクラス型に關係演算子(不等号)が適用できないが、compareTo メソッドがその代わりになる。

```
public static int binarySearch(String key, String[] data) {  
  
    int left = 0;  
    int right = data.length - 1;  
  
    while (left <= right) {  
  
        int mid =  
  
        int comp = key.compareTo(        );  
  
        if (comp ==        ) {  
  
        } else if (comp <        ) {  
  
        } else {  
  
        }  
    }  
    return -1;  
}
```

4. 2分探索の最大計算量(最悪計算量)を考えてみる。配列の要素数を n とする。
- (1) 最初の探索範囲には n 個の要素がある。ループの処理を 1 回行うごとに探索範囲はほぼ α 分の 1 に狭まるので、 k 回目では n の α^k 分の 1 個になる。 α の値を示せ。
- (2) 最悪の場合のループ回数を k 回とすると、 $k-1$ 回目に探索範囲が最後の 1 個になって k 回目に最後の比較をするので、およそ $n \cdot \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{k-1} = 1$ という式が成り立つ。この式から最大計算量 k を求め、 n を横軸としたグラフを描いて線形探索と比較せよ。
5. 2分探索の平均計算量を考えてみる。ただし、簡単のため $n = 2^k - 1$ とする。
- (1) もし key が配列の中央にあれば 1 回目で見つけることができる。よって、1 回目で見つけることができる要素は 1 個である。以下、2 回目で見つけることができる要素は 2 個、3 回目は 4 個…と続く。では、最後の k 回目までかかる要素は何個か示せ。

- (2) 平均計算量が以下の式で求められる理由を考えよ。

$$C = \frac{1}{n} \{1 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 4 + \dots + (k-1) \cdot 2^{k-2} + k \cdot 2^{k-1}\}$$

- (3) 【発展】この値は、 $2C - C$ を計算することによって求めることができる。 C を n の式で表せ。

$$C = 2C - C = \frac{1}{n} \{k \cdot 2^k - (1 + 2 + 2^2 + \dots + 2^{k-1})\} = \dots$$