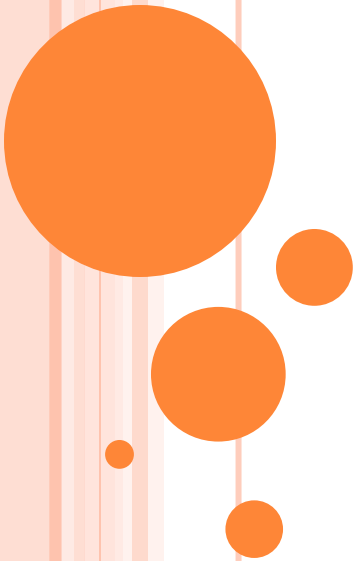


二分木ヒープ (Binary Heap)

二分木ヒープとは

- 集合・リストから「最小な」要素を取り出す
- 二分木ヒープは、そのための標準的データ構造

- 二分木ヒープを保存するデータ構造
- 二分木ヒープの操作のメソッド

- 対象となるデータクラス
  - 識別のためのlabelフィールド
  - 値を保持するvalueフィールド

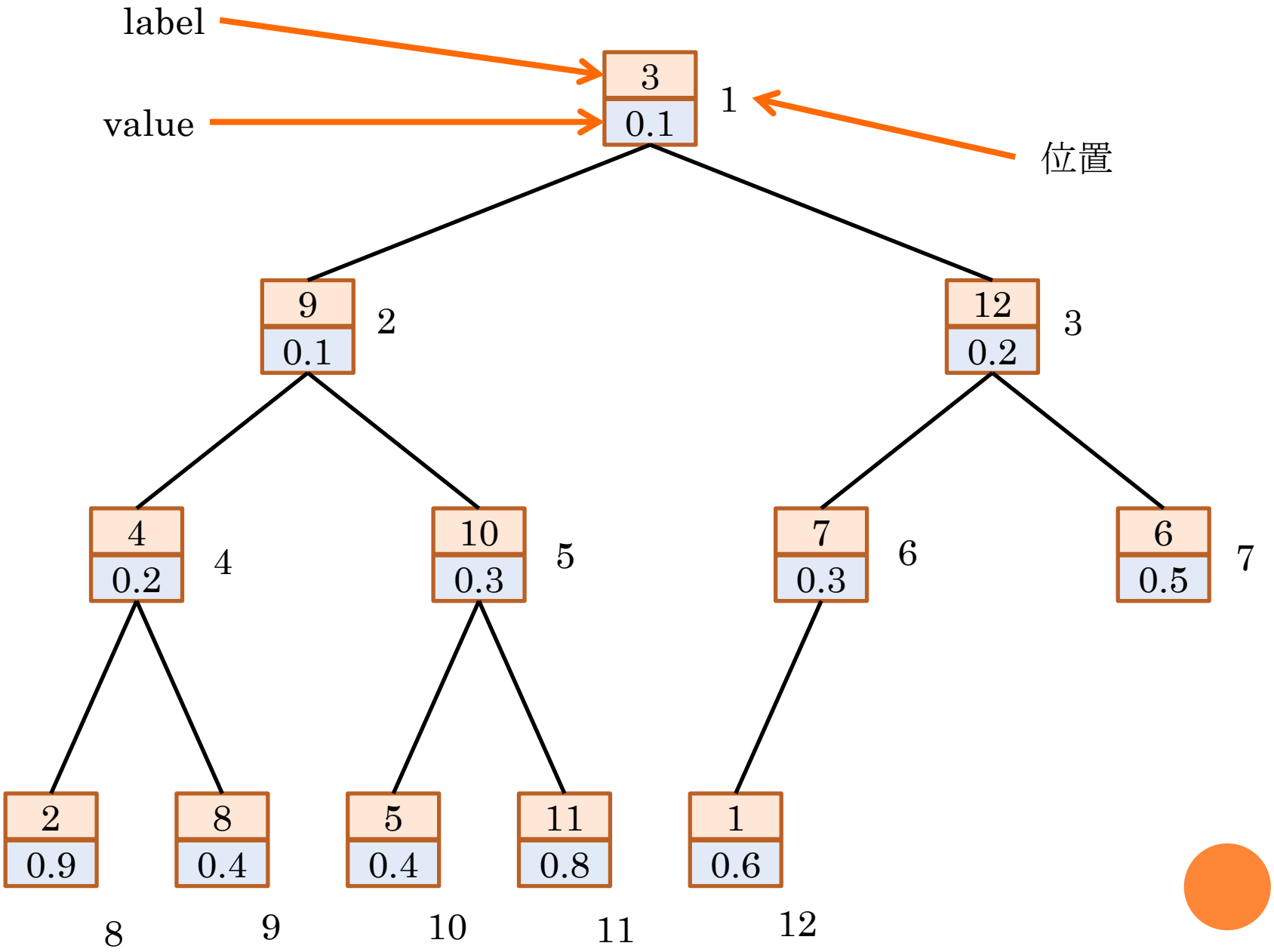
二分木ヒープとは、どういう二分木か

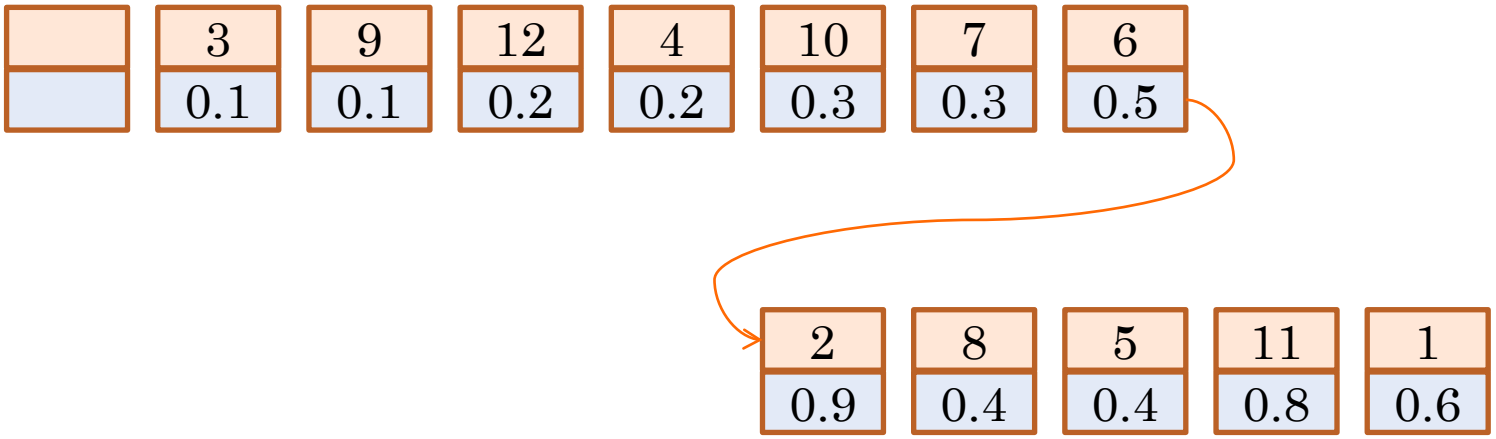
- ある頂点の要素pのvalueは、その子cの要素のvalueより大きくない

$$p.value \leq c.value$$

  - 半順序木になっている

- 完全二分木である
  - 最下層以外の第k層には、2^{k-1}個の頂点がある。
  - 最下層は、左から詰めて頂点がある。


label
value
3
0.1
1
位置
9
0.1
2
12
0.2
3
4
0.2
4
10
0.3
5
7
0.3
6
6
0.5
7
2
0.9
8
0.4
9
5
0.4
10
11
0.8
11
1
0.6
12

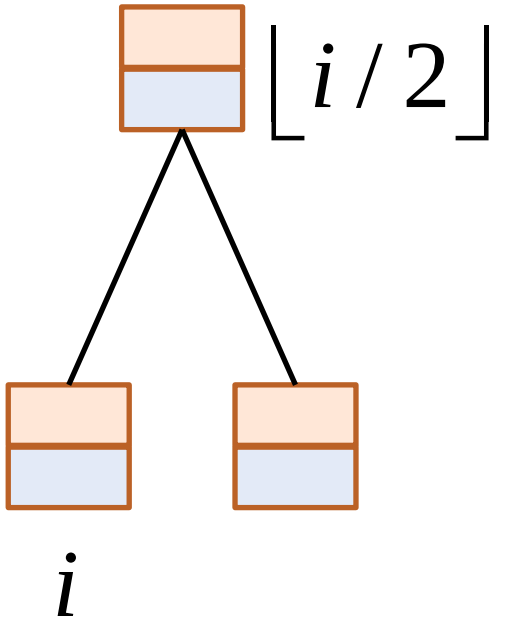

3
0.1
9
0.1
12
0.2
4
0.2
10
0.3
7
0.3
6
0.5
2
0.9
8
0.4
5
0.4
11
0.8
1
0.6

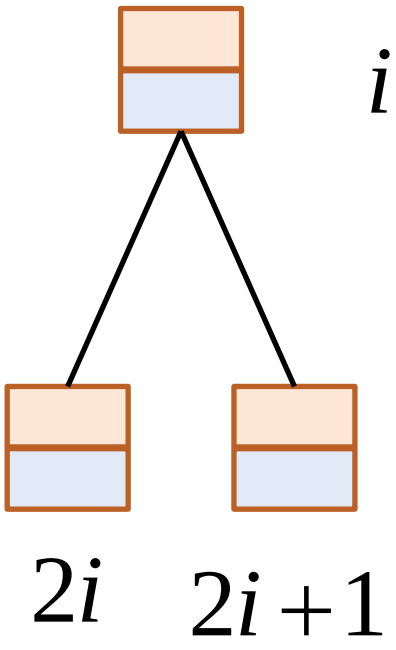
二分木ヒープを保持するデータ構造

- リストで保持
  - 0番：空（リストのインデクスが1から始まるプログラミング言語では不要）
  - 1番：根の要素
  - 2^k番：第k層の左端の要素

親子の番号の関係

- 親の番号
- 子の番号





要素の追加

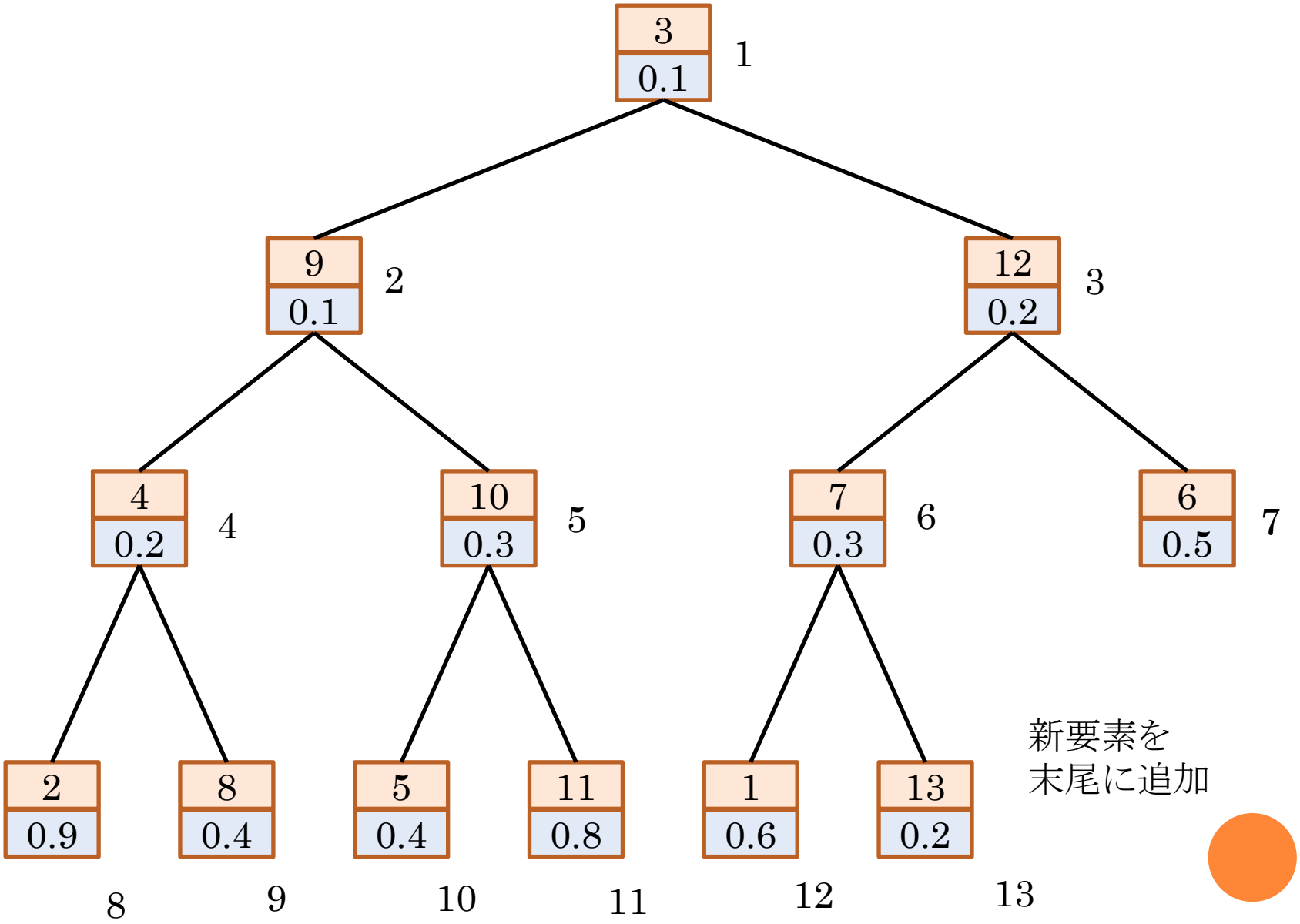
- リストの終端に要素を追加する
  - 木の最下層の一番右に追加、または新たな層を作って、その左端に追加

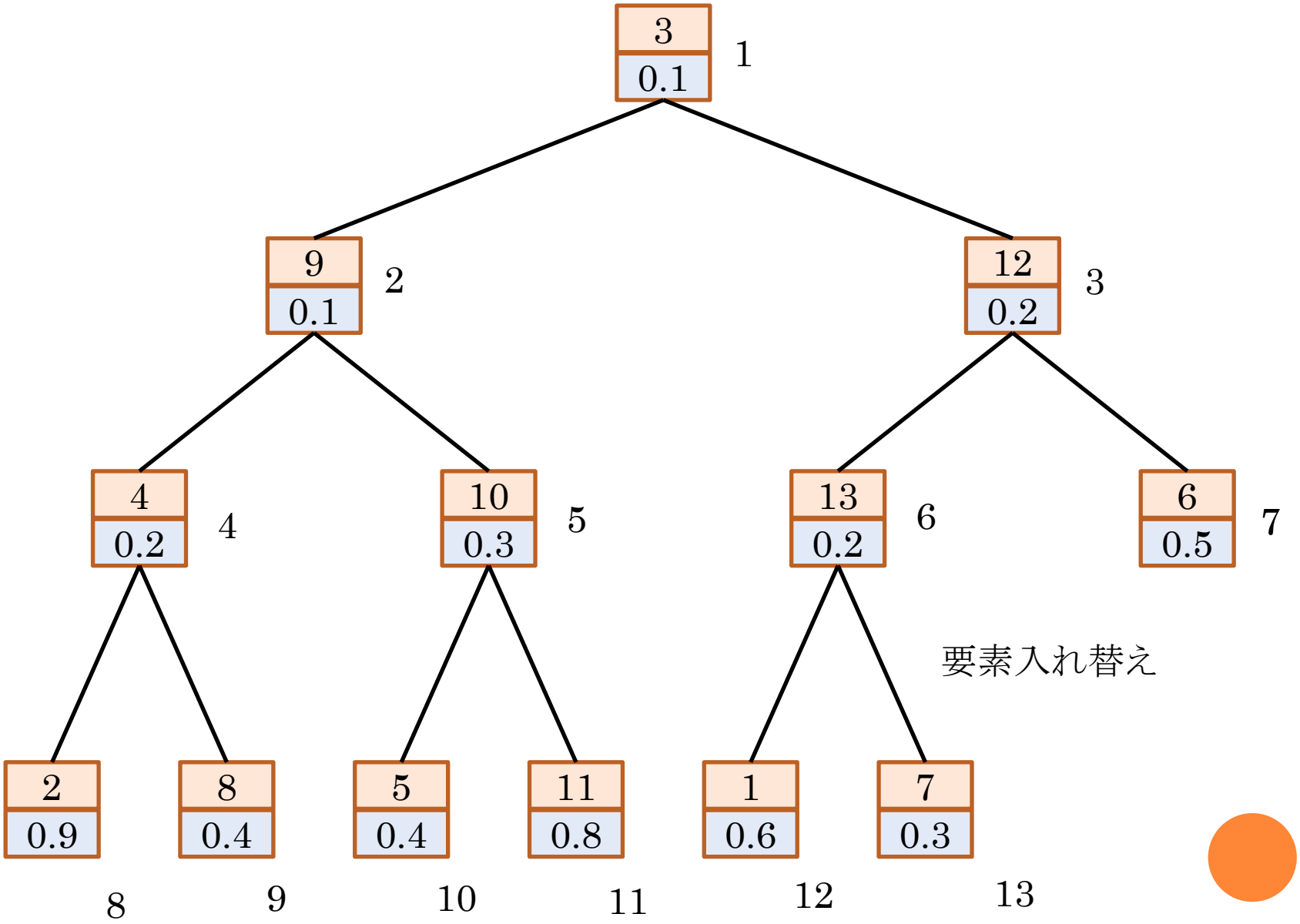
```
void add(O o){
    int n = |L|;
    L.append(o);
    n++;
    shiftUp(n);
}
```

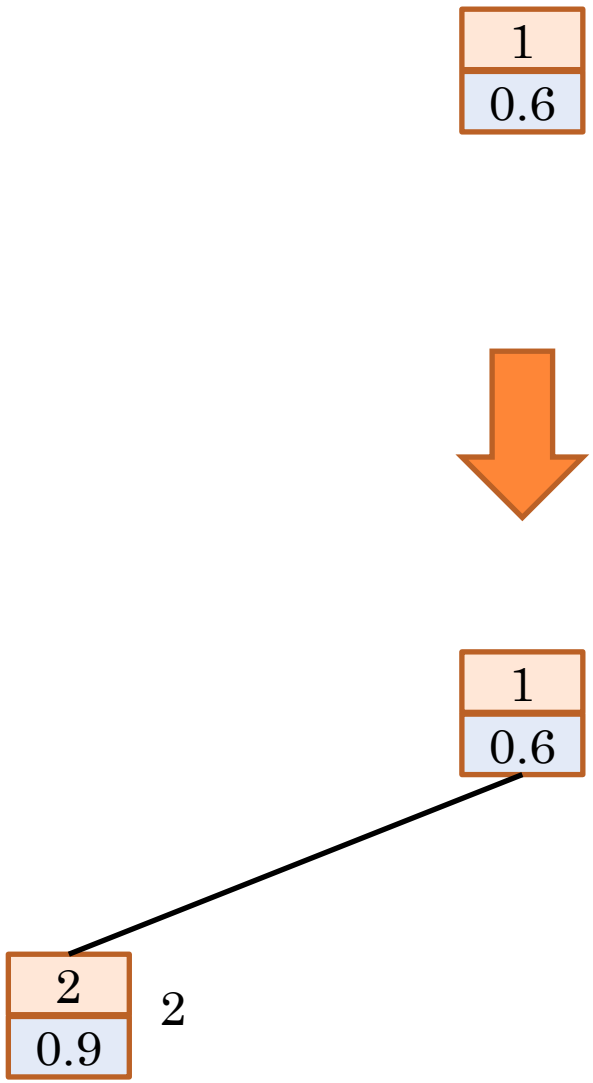
要素の追加：シフトアップ

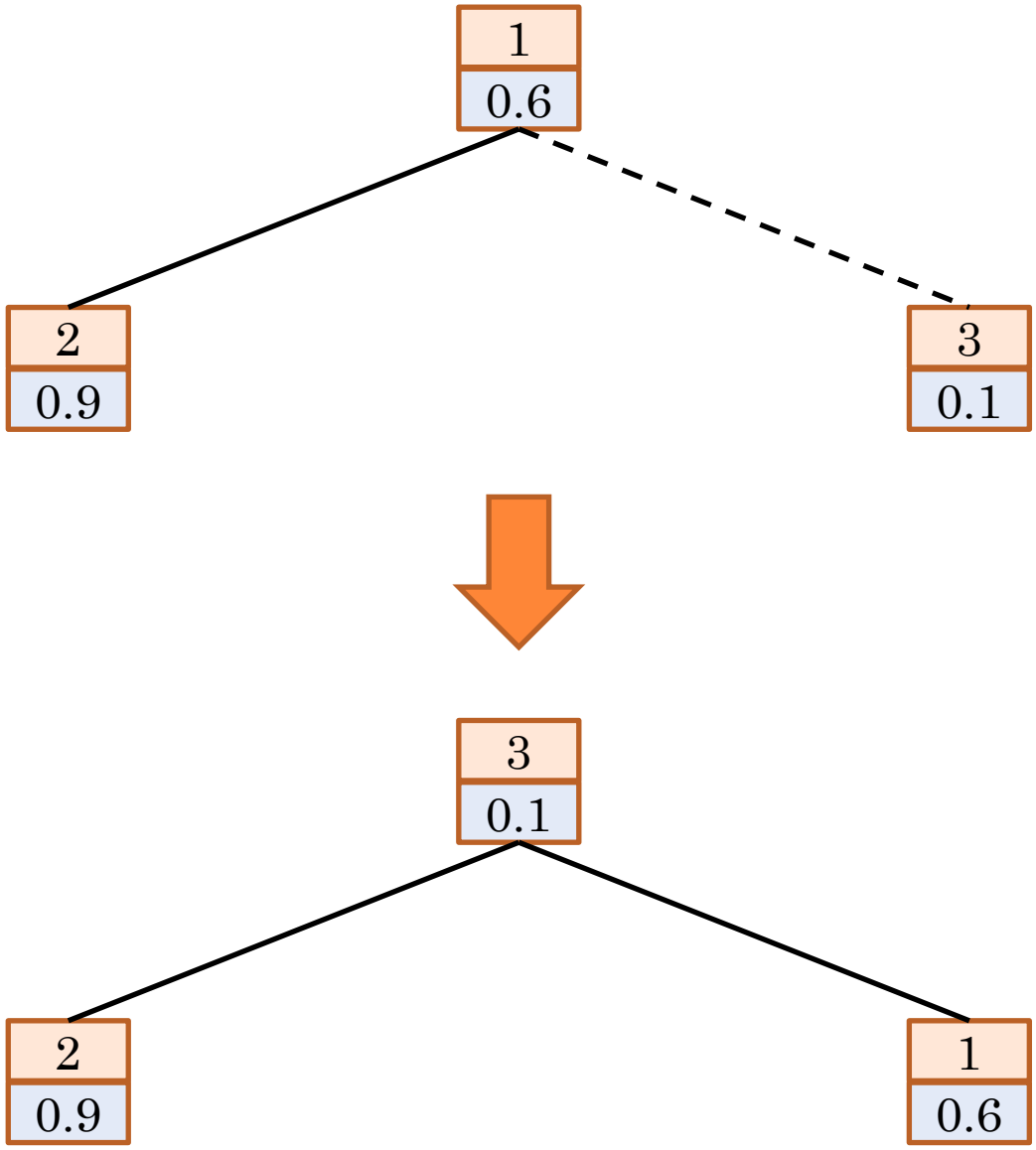
- 追加した新要素を正しい位置へ移動
- 位置kの要素が、親の位置 $\lfloor k/2 \rfloor$ の要素よりも小さいならば、二つの要素を入れ替える
- isLess(i,j)
  - $o_i.value < o_j.value$ のとき真
- swap(i,j)：要素入れ替え

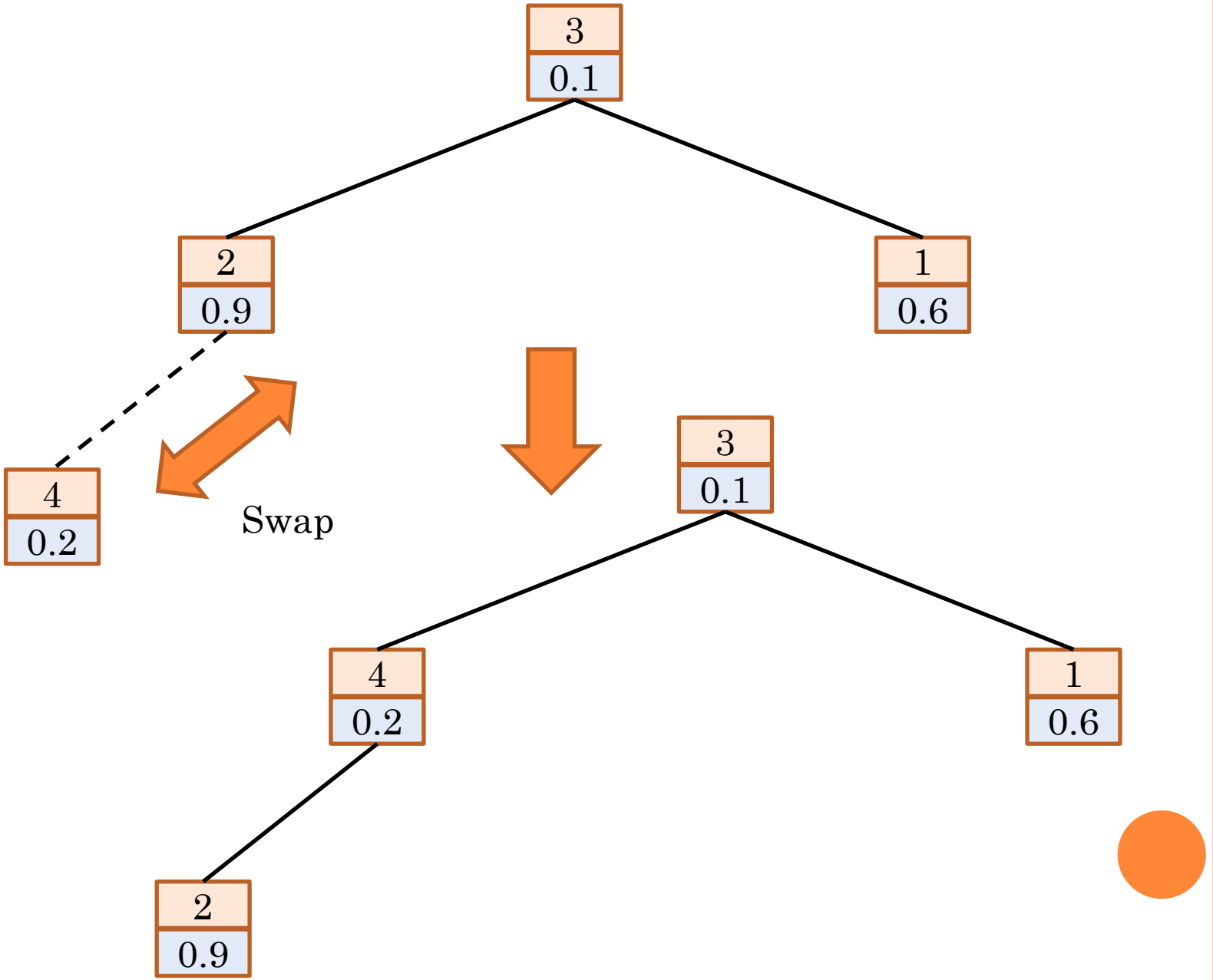
```
void shiftUp(int k){
        if(k>1 && isLess(k, ⌊k/2⌋)){
                swap(k, ⌊k/2⌋);
                k = ⌊k/2⌋;
                shiftUp(k);
        }
}
```

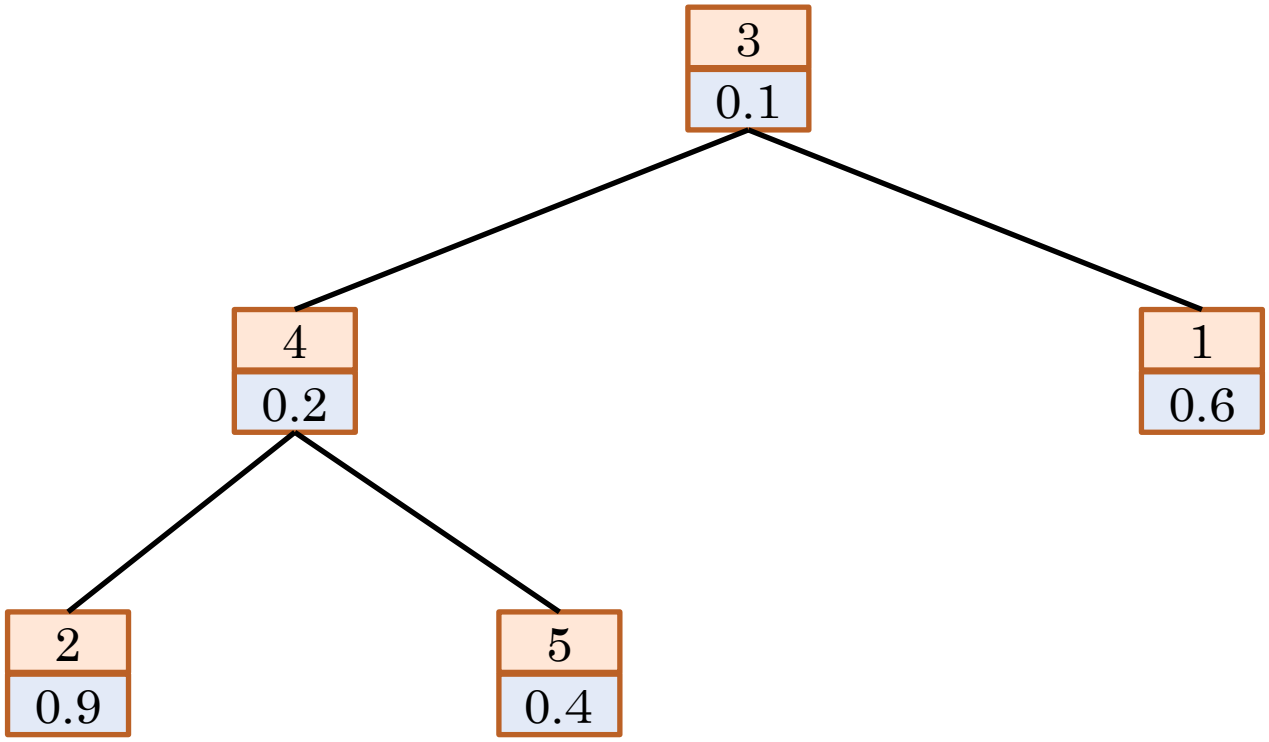

3
0.1
1
9
0.1
2
12
0.2
3
4
0.2
4
10
0.3
5
7
0.3
6
6
0.5
7
2
0.9
8
0.4
9
5
0.4
10
11
0.8
11
1
0.6
12
13
0.2
13
新要素を
末尾に追加

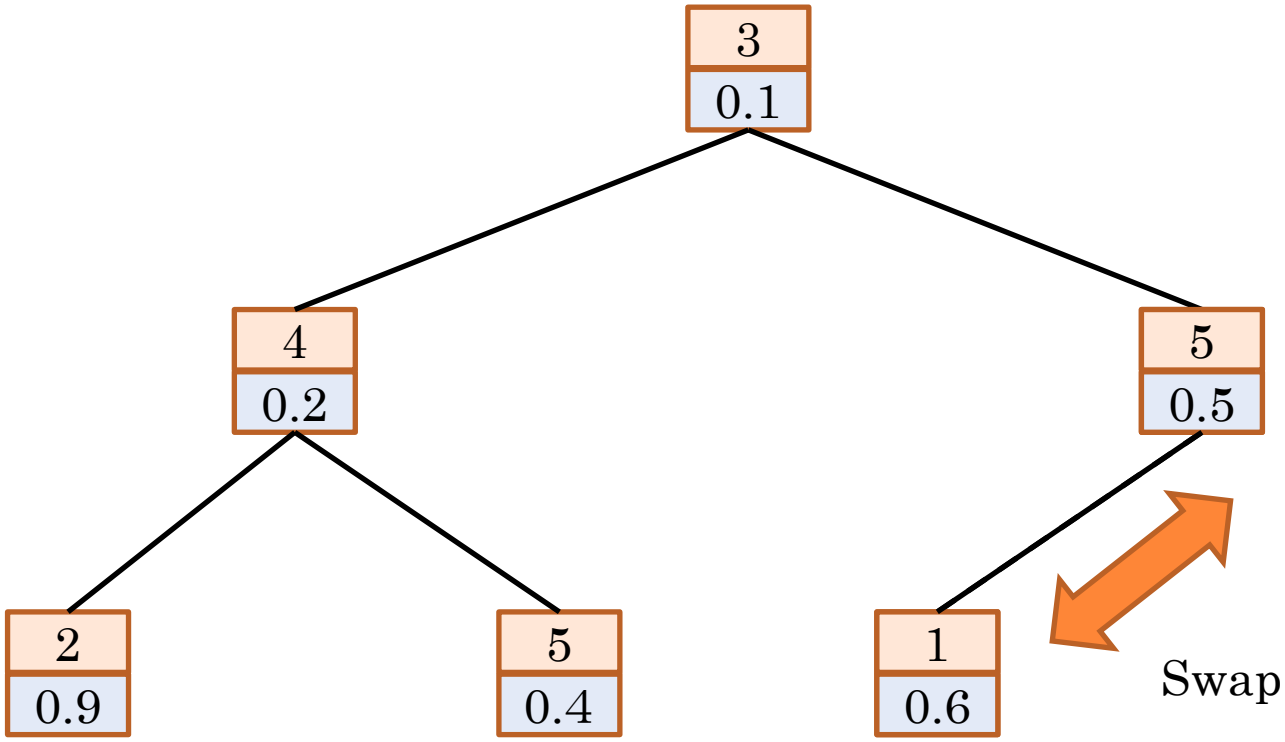

3
0.1
1
9
0.1
2
12
0.2
3
4
0.2
4
10
0.3
5
13
0.2
6
6
0.5
7
要素入れ替え
2
0.9
8
0.4
9
5
0.4
10
11
0.8
11
1
0.6
12
7
0.3
13

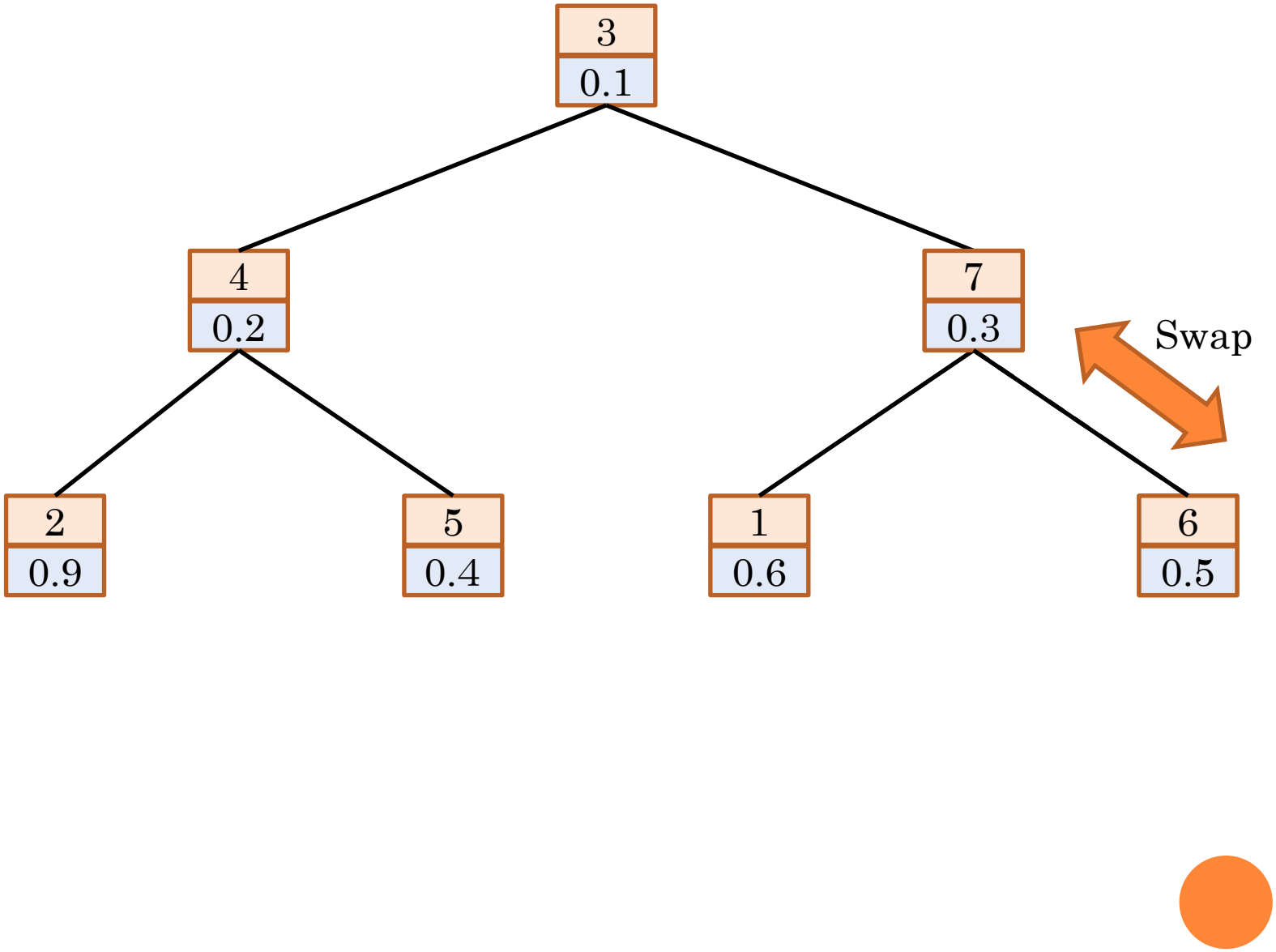

1
0.6
1
0.6
2
0.9
2

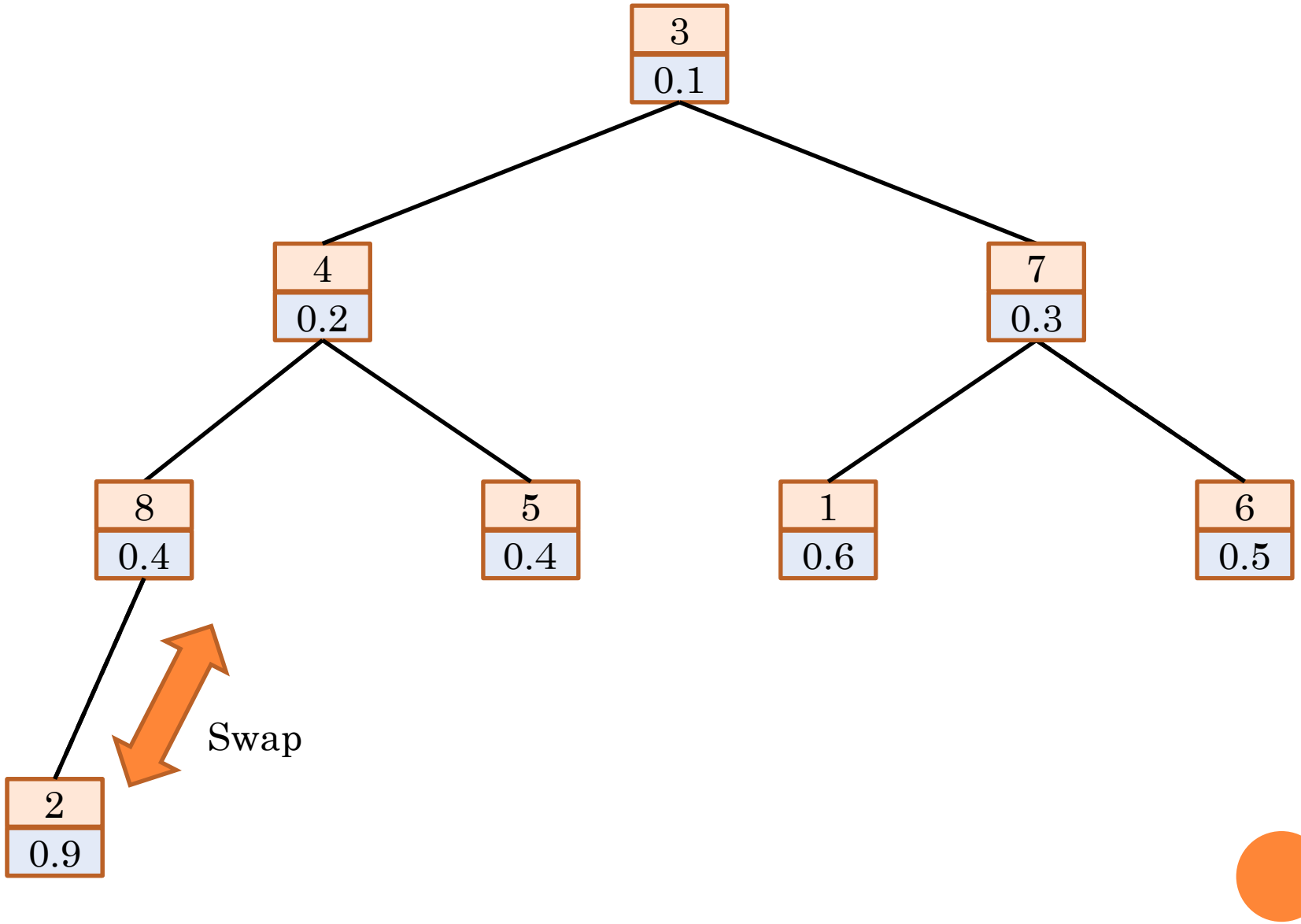

1
0.6
2
0.9
3
0.1
3
0.1
2
0.9
1
0.6


3
0.1
2
0.9
1
0.6
4
0.2
Swap
3
0.1
4
0.2
1
0.6
2
0.9


3
0.1
4
0.2
1
0.6
2
0.9
5
0.4


3
0.1
4
0.2
5
0.5
2
0.9
5
0.4
1
0.6
Swap


3
0.1
4
0.2
7
0.3
Swap
2
0.9
5
0.4
1
0.6
6
0.5


3
0.1
4
0.2
7
0.3
8
0.4
5
0.4
1
0.6
6
0.5
Swap
2
0.9

最小要素の取出し

- 最小要素は木の根として保存されている
- 最小要素を取り除き、再構築する
  - 最小要素の取り除き:リスト中の1番が空く
  - 最後尾の要素を取り除き、リストの1番に入れる
  - 適切な位置へシフトダウンする

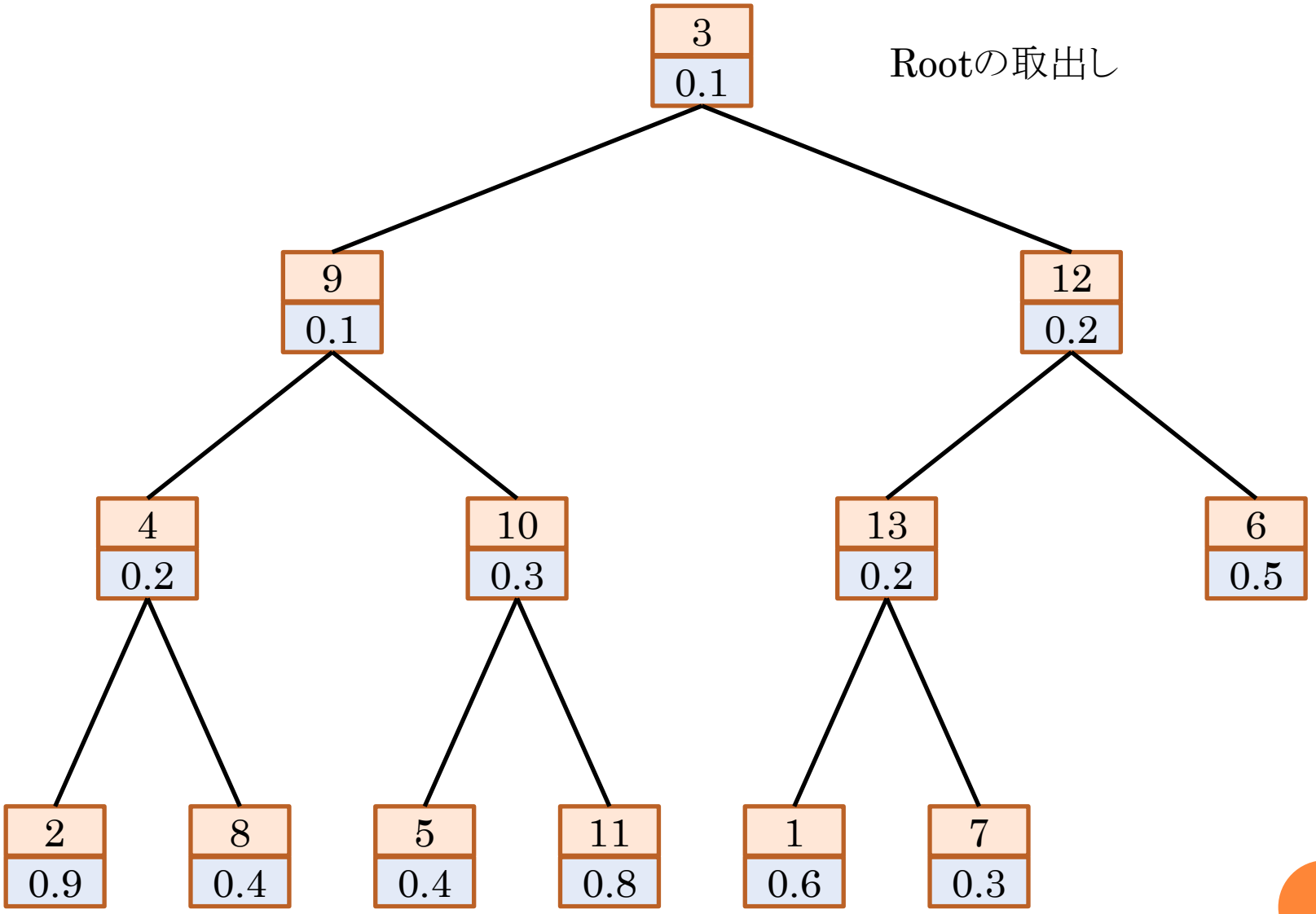
```
O poll(){
        O   t = L.get(1);
        O   x = L.removeLast();
        L.set(1, x);
        shiftDown(1);
        return  t;
}
```

要素の取出し：シフトダウン

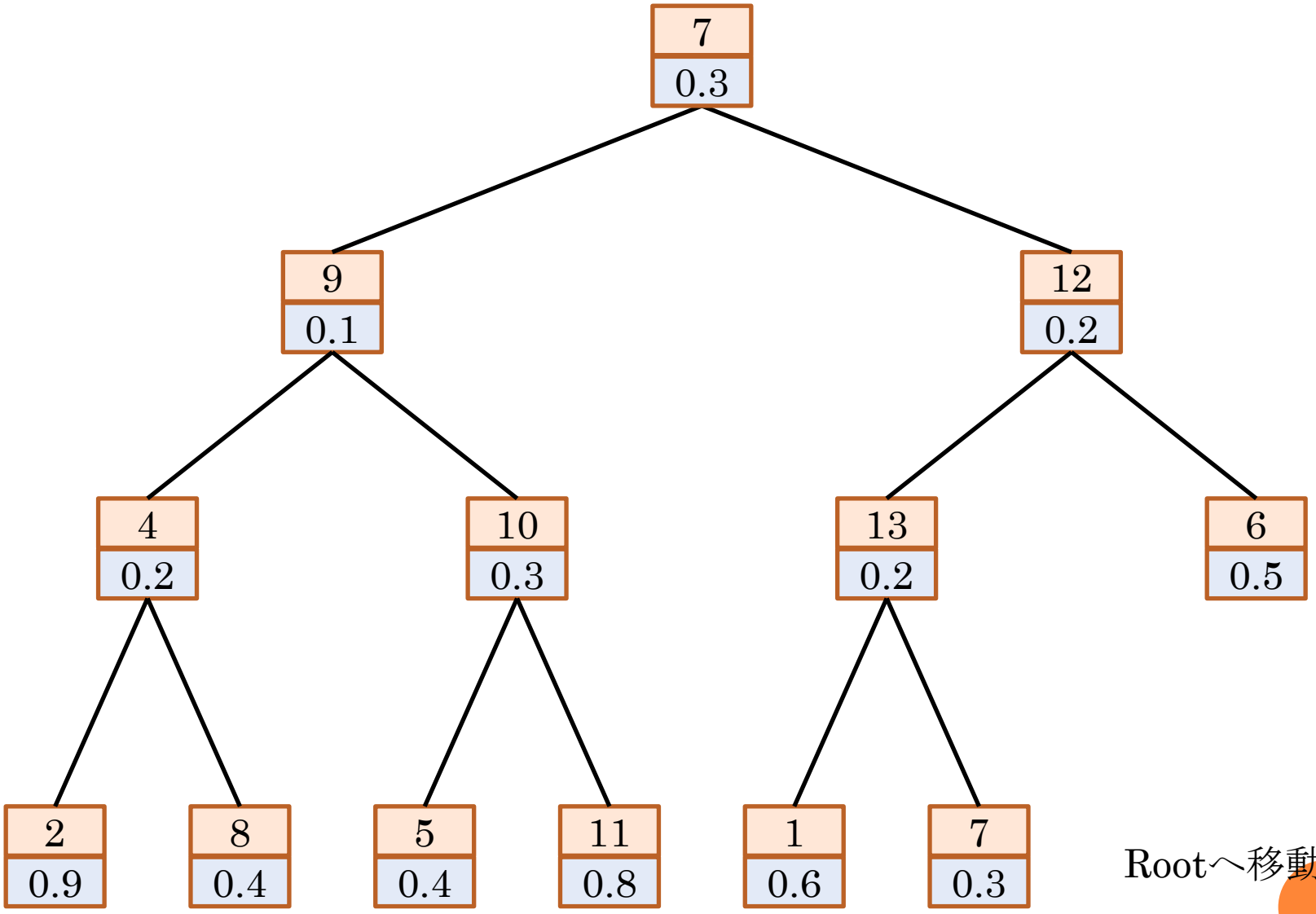
- 追加した新要素を正しい位置へ移動
- 位置kの要素が、子の要素の位置$2k$と$2k+1$の小さいほうの値より大きい場合、その小さい値の子を入れ替える

要素の取出し:シフトダウン

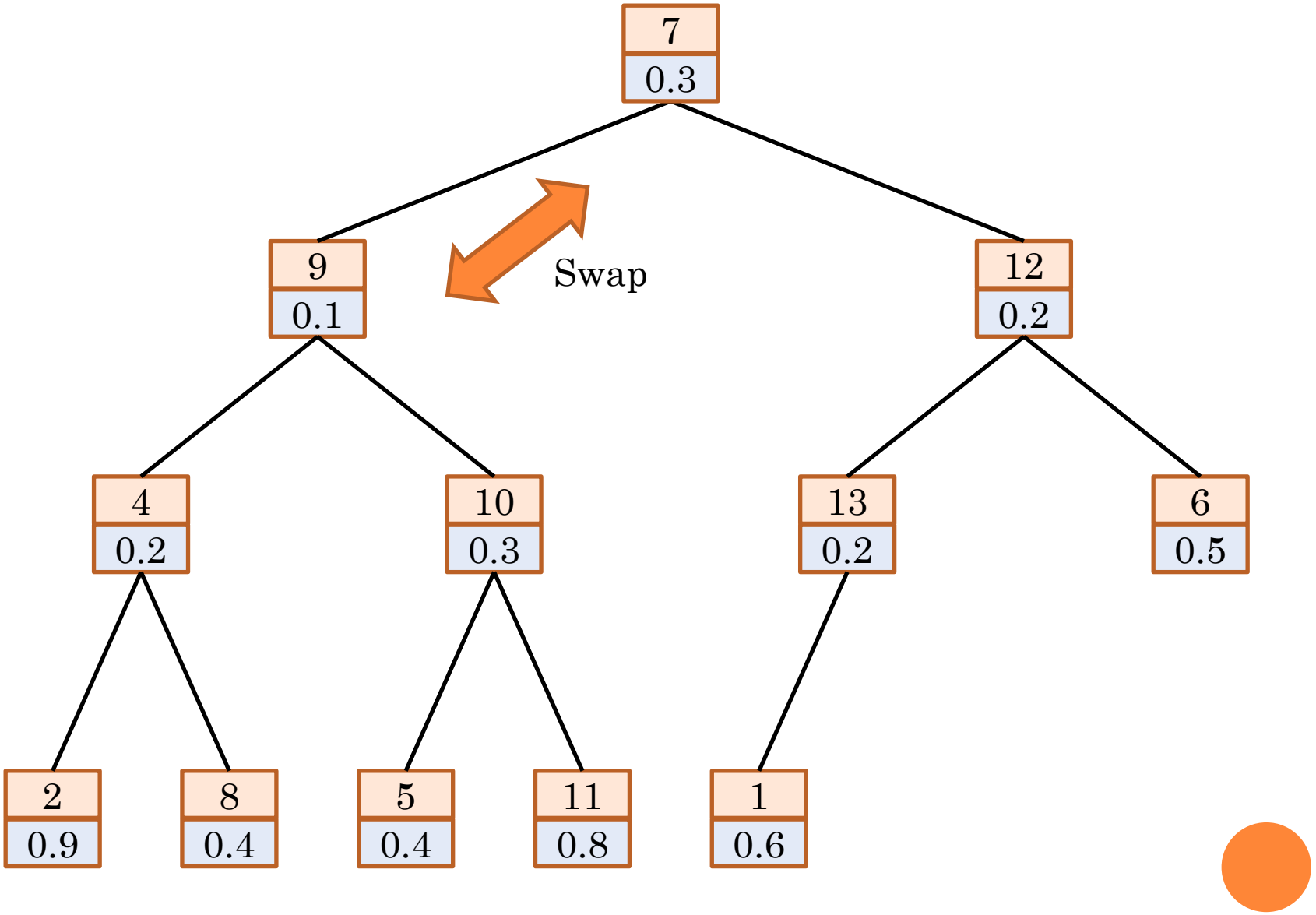
```
void shiftDown(int k){
        int n = |L|;
        if(2×k ≤ n){
                int j = 2×k;
                if( j < n && isLess( j+1, j )) j++;
                if(isLess(k, j ))return;
                swap(k, j );
                shiftDown( j );
        }
}
```

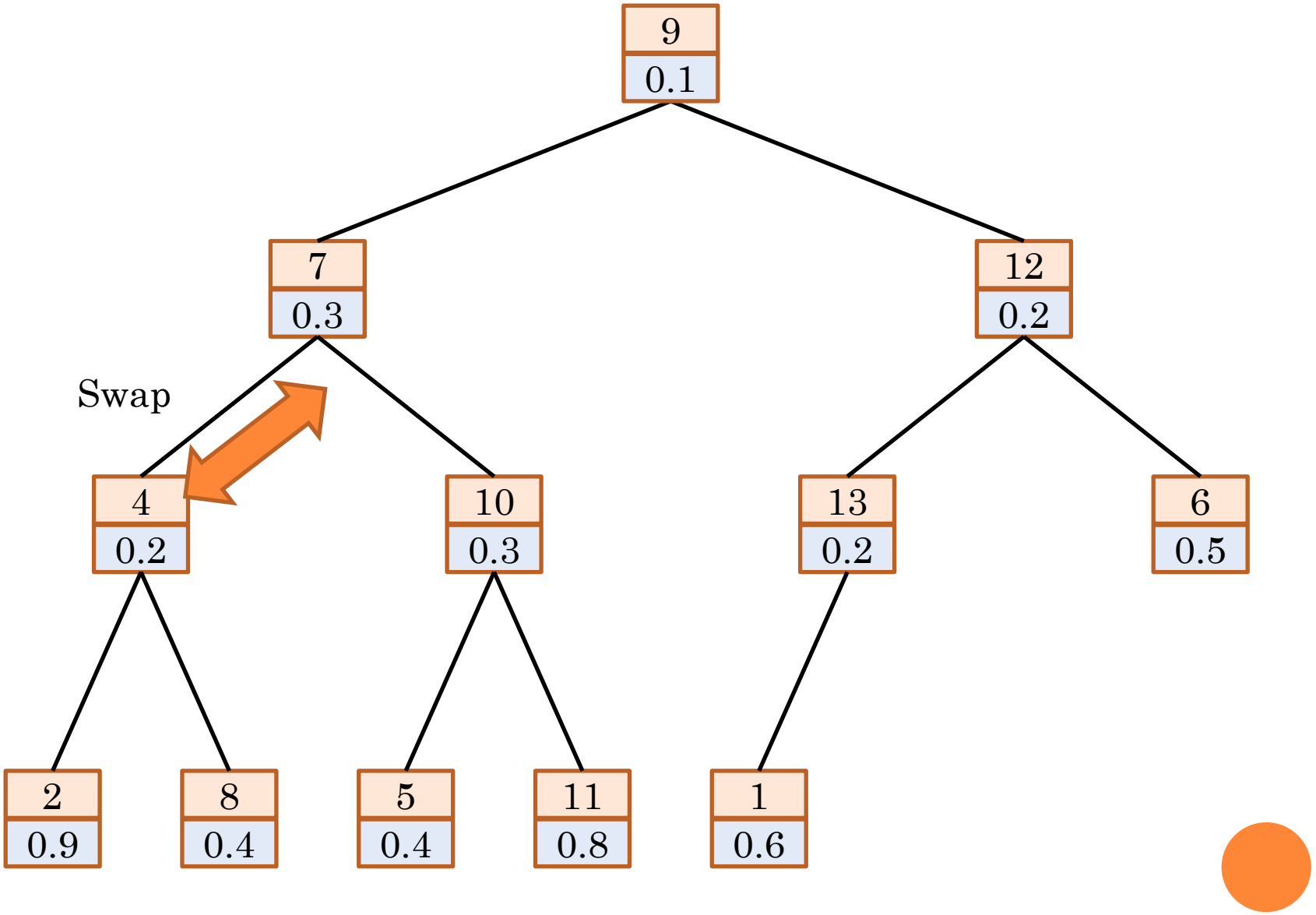


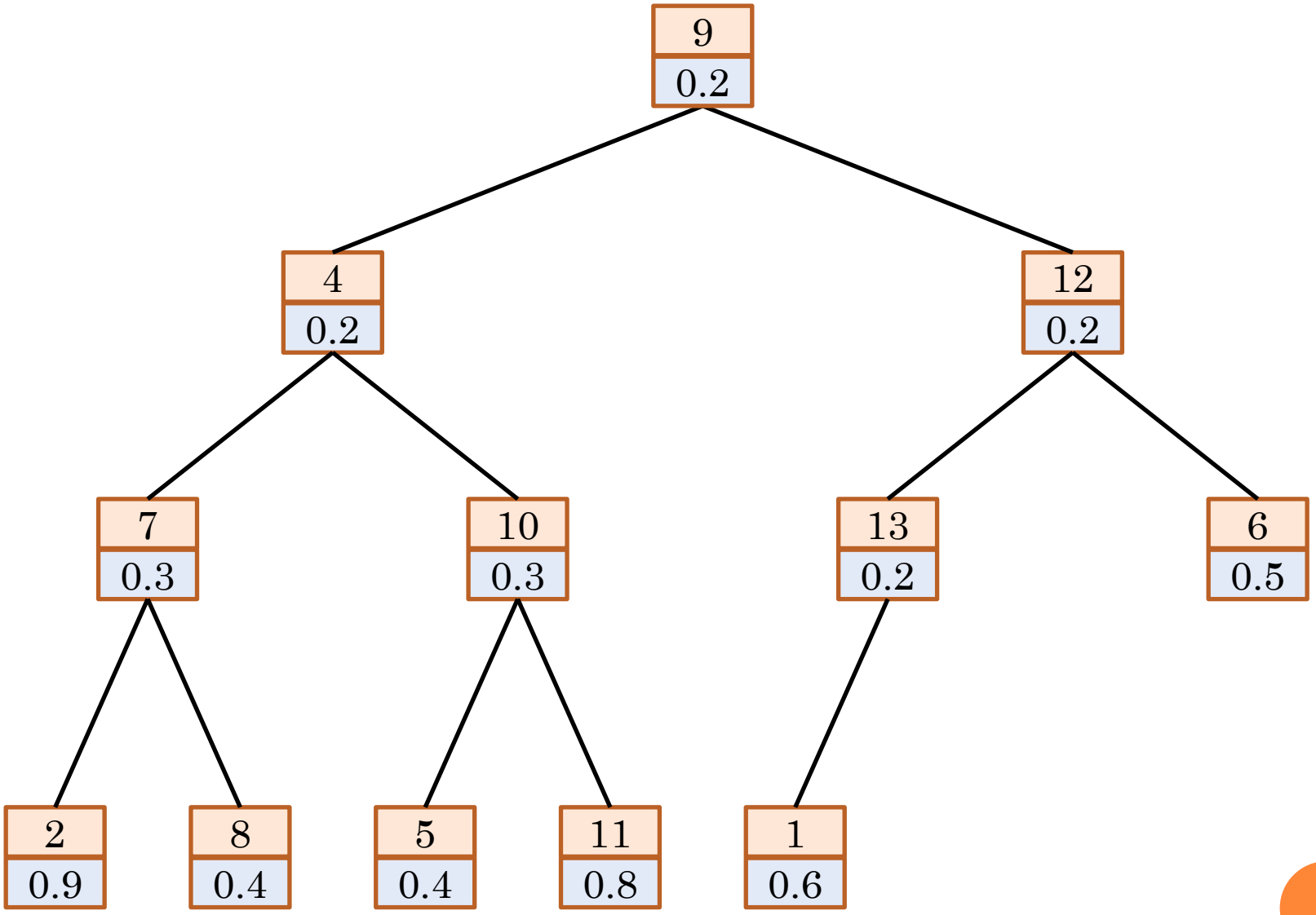
Rootの取出し



Rootへ移動


7
0.3
9
0.1
Swap
12
0.2
4
0.2
10
0.3
13
0.2
6
0.5
2
0.9
8
0.4
5
0.4
11
0.8
1
0.6


9
0.1
7
0.3
12
0.2
Swap
4
0.2
10
0.3
13
0.2
6
0.5
2
0.9
8
0.4
5
0.4
11
0.8
1
0.6


9
0.2
4
0.2
12
0.2
7
0.3
10
0.3
13
0.2
6
0.5
2
0.9
8
0.4
5
0.4
11
0.8
1
0.6

特定の要素の値を小さくする

- その要素のインデクス*k*
- shiftUpを*k*を起点に実施

```
void reduceValue(O o){
        k = o のリスト中のインデクス
        shiftUp(k)
}
```

特定の要素の値を大きくする

- その要素のインデクス*k*
- shiftDownを*k*を起点に実施

```
void raiseValue(O o){
        k = o のリスト中のインデクス
        shiftDown(k)
}
```

単体テスト

- プログラムのテスト技法のひとつ
- 関数やメソッドが正しく動作していることを確認する
  - 関数の実際の戻り値と想定される戻り値を比較する

- NetBeansには、単体テストの自動生成機能がある
  - プロジェクトウィンドウで、対象となるクラスをマウス右ボタンで選択
  - 「ツール」→「Junitテストを生成」
  - テストツールJunitを使うことで、メソッドが正しく動作していることをテストする

- assertEqualsメソッド
  - 二つの引数(メソッド実行結果と期待される結果)が等しいかを判別する
- assertTrueメソッド
  - 引数がtrueであるかを判別する
- assertFalseメソッド
- assertNullメソッド
  - 引数がnullであるかを判別する

BinaryHeap.java

```java
package utils;

import java.text.NumberFormat;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Collections;
import java.util.Comparator;
import java.util.List;

/**
 *
 * @author tadaki
 */
public class BinaryHeap<T> {

    /** データを保持するリスト */
    private List<T> list;
    /** 要素を比較する方法 */
    private Comparator<T> comparator = null;
    /** 要素数 */
    private int n;

    /**
     * コンストラクタ：比較方法を指定する場合
     * 比較方法を指定しない場合は、
     *     要素はインターフェイスComparableを実装していること
     * @param comparator
     */
    public BinaryHeap(Comparator<T> comparator) {
        this();
        this.comparator = comparator;
    }

    public BinaryHeap() {
        list = Collections.synchronizedList(new ArrayList<T>());
        list.add(null);
        n = 0;
    }

    /**
     * 新しい要素を追加する
     * @param t
     * @return
     */
    public boolean add(T t) {
```

```
        boolean b = list.add(t);
        if (b) {
            n++;
            shiftUp(n);
        }
        return b;
    }

    /**
     * 最小の要素を得る：削除しない
     * @return
     */
    public T peek() {
        if (n == 0) {
            return null;
        }
        return list.get(1);
    }

    /**
     * 最小の要素を取り出し、削除する
     * @return
     */
    public T poll() {
        T t = null;
        if (n == 0) {
            return t;
        }
        if (n == 1) {//残りの要素が一つ
            t = list.remove(n);
            n--;
        } else {
            T x = list.remove(n);
            t = list.get(1);
            n--;
            list.set(1, x);
            shiftDown(1);
        }
        return t;
    }

    /**
     * 特定の要素の値を小さくした場合の再配置
     * @param t
```

```
     */
    public void reduceValue(T t) {
        int k = list.indexOf(t);
        shiftUp(k);
    }

    /**
     * 特定の要素の値を大きくした場合の再配置
     * @param t
     */
    public void raiseValue(T t){
        int k = list.indexOf(t);
        shiftDown(k);
    }

    /**
     * リストの取得
     * @return
     */
    public List<T> getList() {
        return list;
    }

    public boolean isEmpty() {
        return (n == 0);
    }

    public boolean contains(T t) {
        return list.contains(t);
    }


/**************************************************************************/
    /**
     * あるk にあるobjectを上位の適切な位置に置く
     * @param k
     */
    private void shiftUp(int k) {
        if (k > 1 && isLess(k, (int) (k / 2))) {
            int j = (int) (k / 2);
            swap(k, j);
            shiftUp(j);
        }
    }
```

```
    /**
     * あるk にあるobjectを下位の適切な位置に置く
     * @param k
     */
    private void shiftDown(int k) {
        if (2 * k <= n) {
            int j = 2 * k;
            if (j < n && isLess(j + 1, j)) {
                j++;
            }
            if (isLess(k, j)) {
                return;
            }
            swap(k, j);
            shiftDown(j);
        }
    }

    @SuppressWarnings("unchecked")
    private boolean isLess(int i, int j) {
        int a;
        T x = list.get(i);
        T y = list.get(j);
        if (comparator == null
                && x instanceof Comparable && y instanceof Comparable) {
            a = ((Comparable) x).compareTo((Comparable) y);
        } else {
            a = comparator.compare(x, y);
        }
        return (a < 0);
    }

    private void swap(int i, int j) {
        T o = list.get(i);
        list.set(i, list.get(j));
        list.set(j, o);
    }


/**********************************************************************/
    /**
     * @param args the command line arguments
     */
```

```
    public static void main(String[] args) {
        /** サンプルとなるデータオブジェクト */
        class Data {

            int label;
            double value;

            public Data(int label, double value) {
                this.label = label;
                this.value = value;
            }
        }
        /** サンプルとなるデータの比較方法 */
        class CompareData implements Comparator<Data> {

            @Override
            public int compare(Data o1, Data o2) {
                int a = 0;
                if (o1.value > o2.value) {
                    a = 1;
                }
                if (o1.value < o2.value) {
                    a = -1;
                }
                return a;
            }
        }
        BinaryHeap<Data> h = new BinaryHeap<>(new CompareData());
        /** データ追加 */
        int n = 20;
        for (int i = 0; i < n; i++) {
            Data d = new Data(i + 1, Math.random());
            h.add(d);
        }
        /** 結果取得 */
        List<Data> list = h.getList();

        /** 最小値を削除 */
        for (int i = 0; i < 2; i++) {
            Data d = h.poll();
            n--;
        }
        /** 出力 */
        NumberFormat format = NumberFormat.getInstance();
```

```
        format.setMaximumFractionDigits(4);

        int l = (int) (Math.log((double) n) / Math.log(2.) + 0.1);
        for (int i = 0; i <= l; i++) {
            int m = (int) (Math.pow(2., (double) i) + 0.1);
            System.out.println();
            for (int j = 0; j < m; j++) {
                int k = m + j;
                if (k != 0 && k <= n) {
                    System.out.print("(");
                    System.out.print(list.get(k).label);
                    System.out.print(",");
                    System.out.print(format.format(list.get(k).value));
                    System.out.print(") ");
                }
            }
        }
        System.out.println();
    }
}
```

BinaryHeapTest.java

```
package utils;

import java.util.ArrayList;
import java.util.Comparator;
import java.util.List;
import static org.junit.Assert.*;
import org.junit.*;

/**
 *
 * @author tadaki
 */
public class BinaryHeapTest {

    /**
     * ヒープに保存するデータの型
     */
    class Data {

        int label;
        int value;

        public Data(int label, int value) {
            this.label = label;
            this.value = value;
        }

        public void setValue(int value) {
            this.value = value;
        }

        public Data(final Data d) {
            this(d.label, d.value);
        }
    }

    /**
     * クラスDataのインスタンスの比較方法
     */
    class CompareData implements Comparator<Data> {

        public int compare(Data o1, Data o2) {
            int a = 0;
            if (o1.value > o2.value) {
```

```
                a = 1;
            }
            if (o1.value < o2.value) {
                a = -1;
            }
            return a;
        }
    }
    /**
     * 入力データ列
     */
    List<Data> dataListOriginal;
    /**
     * 入力データ列
     */
    List<Data> dataList;
    /**
     * 完全に並べられたデータ列
     */
    List<Data> orderedList;

    /**
     * 完全に並べられたデータ列
     */
    public BinaryHeapTest() {
    }

    @BeforeClass
    public static void setUpClass() throws Exception {
    }

    @AfterClass
    public static void tearDownClass() throws Exception {
    }

    @Before
    public void setUp() {
        /**
         * 入力作成
         */
        int data[] = {4, 5, 2, 6, 3, 1, 0, 9};
        dataListOriginal = new ArrayList<>();
        for (int i = 0; i < data.length; i++) {
            Data d = new Data(i, data[i]);
```

```
            dataListOriginal.add(d);
        }
    }

    @After
    public void tearDown() {
    }

    private void printData(List<Data> list) {
        for (Data d : list) {
            System.out.print(d.value);
            System.out.print(" ");
        }
        System.out.println();
    }

    private void mkTestData(BinaryHeap h) {
        dataList = new ArrayList<>();
        for (Data d : dataListOriginal) {
            dataList.add(new Data(d));
        }
        for (int i = 0; i < dataList.size(); i++) {
            Data d = dataList.get(i);
            h.add(d);
        }
        /**
         * 出力作成
         */
        orderedList = new ArrayList<>();
        orderedList.add(dataList.get(6));
        orderedList.add(dataList.get(5));
        orderedList.add(dataList.get(2));
        orderedList.add(dataList.get(4));
        orderedList.add(dataList.get(0));
        orderedList.add(dataList.get(1));
        orderedList.add(dataList.get(3));
        orderedList.add(dataList.get(7));
    }

    /**
     * Test of add method, of class BinaryHeap.
     */
    @Test
    public void testAdd() {
```

```
        System.out.println("add");
        BinaryHeap<Data> instance = new BinaryHeap(new CompareData());
        mkTestData(instance);
        Data t = dataList.get(0);
        boolean result = instance.add(t);
        assertTrue(result);
    }

    /**
     * Test of peek method, of class BinaryHeap.
     */
    @Test
    public void testPeek() {
        System.out.println("peek");
        BinaryHeap<Data> instance = new BinaryHeap(new CompareData());
        mkTestData(instance);
        Data expResult = dataList.get(6);
        Data result = instance.peek();
        assertEquals(expResult, result);
    }

    /**
     * Test of peek method for null data, of class BinaryHeap.
     */
    @Test
    public void testPeekForNull() {
        System.out.println("peek for null");
        BinaryHeap<Data> instance = new BinaryHeap(new CompareData());
        Data result = instance.peek();
        assertNull(result);
    }

    /**
     * Test of poll method, of class BinaryHeap.
     */
    @Test
    public void testPoll() {
        System.out.println("poll");
        BinaryHeap<Data> instance = new BinaryHeap(new CompareData());
        mkTestData(instance);
        Data expResult = dataList.get(6);
        Data result = instance.poll();
        assertEquals(expResult, result);
    }
```

```
    /**
     * Test of poll method, of class BinaryHeap.
     */
    @Test
    public void testPollAndPeek() {
        System.out.println("poll And Peek");
        BinaryHeap<Data> instance = new BinaryHeap(new CompareData());
        mkTestData(instance);
        Data expResult = dataList.get(5);
        Data result0 = instance.poll();
        Data result = instance.peek();
        assertEquals(expResult, result);
    }

    /**
     * Test of reduceValue method, of class BinaryHeap.
     */
    @Test
    public void testReduceValue() {
        System.out.println("reduceValue");
        BinaryHeap<Data> instance = new BinaryHeap(new CompareData());
        mkTestData(instance);
        Data t = dataList.get(0);
        t.value = -1;
        instance.reduceValue(t);
        Data expResult = dataList.get(0);
        Data result = instance.peek();
        assertEquals(expResult, result);
    }
    /**
     * Test of raoseValue method, of class BinaryHeap.
     */
    @Test
    public void testraiseValue() {
        System.out.println("raiseValue");
        BinaryHeap<Data> instance = new BinaryHeap(new CompareData());
        mkTestData(instance);
        Data t = dataList.get(5);
        t.value = 7;
        instance.reduceValue(t);
        Data expResult = t;
        Data result = instance.getList().get(3);
        assertEquals(expResult, result);
```

```
    }

    @Test
    public void testSort() {
        System.out.println("Sort");
        BinaryHeap<Data> instance = new BinaryHeap(new CompareData());
        mkTestData(instance);
        List<Data> result = new ArrayList<>();
        while (!instance.isEmpty()) {
            Data d = instance.poll();
            result.add(d);
        }
        assertEquals(orderedList, result);
    }
}
```