

2020 年度 卒業論文

論文題目

小児の口腔ケア習慣を向上するための
AR 歯磨き教育システム

指導教員

舟橋 健司 准教授

名古屋工業大学 工学部 情報工学科
2017 年度入学 29114066 番

名前 近藤春希

目次

第1章	はじめに	1
第2章	提案するシステムの構成	3
第3章	YOLOv3	9
3.1	darknet53	9
3.2	YOLOによる物体検出	12
第4章	機械学習による歯の汚れやすい部分の検出	14
4.1	画像の準備	14
4.2	アノテーションデータの作成	17
4.3	学習	20
第5章	検証実験	25
5.1	動作確認	25
5.2	検証実験	28
第6章	むすび	30
	謝辞	31
	参考文献	32

第1章 はじめに

虫歯とは歯の表面の歯垢の中にある細菌が飲食物の中の糖分を摂取、分解して酸を出し、酸の緩衝や歯の修復が間に合わずに歯を溶かす状態が続くとその部分の歯が崩壊することをいう。虫歯になると自然に回復することはなく、進行すると歯の神経にまで細菌が達して大掛かりな治療が必要になる [1]。歯磨きは細菌や細菌の発生する要因である食べ残しを取り除くために行う [2]。

次に歯磨きの仕方を説明する。「歯磨きの仕方と健口体操」によると、歯磨きは歯の汚れやすい部分や磨き残しの多いところを理解して行う必要がある。歯の汚れやすい部分とは食べかすやプラークと呼ばれる細菌の塊が残りやすい部分のことである。食べかすやプラークが残りやすい部分は歯の形状によるものや入れ歯の金具がかかっている歯や端正装置のまわりなどである。また、歯の磨き残しのある位置は利き手などの要因により個々の人々によって違うので自身の磨き残しの多い位置を理解する必要がある。歯磨きはそれらに注意して自分に合った歯ブラシを使用して歯ブラシの毛先を歯の面に当て細かく丁寧に動かして行う必要がある。また、歯ブラシで歯と歯茎の隙間を磨くときには力の強さや歯ブラシの動かし方によって傷ができる恐れがあるので注意が必要である [3]。

歯磨きは歯が生え始めてから始める必要がある。その理由は歯磨きをしないことにより永久歯に生え変わる前に虫歯で乳歯が抜けてしまうことで隣の歯が傾いて永久歯が曲がって生えたり、本来とは違う場所に生えたりすることで将来の歯並びが悪くなる恐れがあるからである。さらに乳歯の虫歯を放置しておくと永久歯まで虫歯になりやすい環境になってしまう [4]。

しかし「学校保健統計調査」 [5]によると、処置完了者を含むと幼稚園では31.16%、小学校では44.82%の者が虫歯であり、未処置歯のある人の割合は中学生や高校生より高く幼稚園で19.15%、小学生で21.74%であった。この結果から小さな子供は

十分に歯磨きができていないということが分かる。また、「歯科保健に関する教育が保健行動に及ぼす影響」[6]では歯科衛生士科卒業前の2年生の「歯周病を意識して歯磨きを行う者」、「う蝕予防を意識して歯磨きを行う者」、「保険ニュースへの関心の高い者」の割合は同学科1年生や他学科の学生より多いという結果があり歯科保健に対する教育を受けた人は歯科保健に関する関心度及び知識が向上していることが分かった。すなわち、正しい歯磨きを学ばせることは歯磨きをしてもらうことにつながると考えられる。しかし、小さな子供が歯磨きの必然性を正しく理解することは困難である。そこで本研究では歯の汚れやすい部分を子供たちにわかりやすく示すことで正しい歯磨き習慣を学んでもらうことを目標とする。

ところで当研究室ではこれまで小児向けに、接触感染の経路となりやすい対象物にリアルタイムでばい菌のイラストを重畳表示することで、手洗い習慣の必要性を学んでもらうシステムを提案している[7]。背面にカメラを備えるタブレット端末を対象物、例えば照明のスイッチや手すりなどに向けると、画面を通してその対象物に加えてばい菌のイラストが確認できる。対象物の形状は様々であり、また撮影角度により見え方も様々である。そこで機械学習により典型的な対象物の画像を学習させておくことで、対象物を柔軟に認識している。本研究でも、事前に歯の汚れやすい部分を調査した上で、機械学習により当該部分を学習させる。得られた重みファイルによりPCに接続されたカメラの映像から歯の汚れやすい部分をリアルタイムに検出した上で、子供の自身の顔画像内の歯にばい菌イラストを重畳表示する。自身の歯に、実際には見えないばい菌がついている様子を見せることで、子供たちに歯磨きの必要性を学んでもらうことを目標とする。なお、実際にプラークなどの有無を判定するわけではない。

第2章では提案するばい菌表示システムについて説明し、第3章では使用した機械学習アルゴリズムYOLOv3について説明し、第4章では機械学習による歯の汚れやすい部分の検出について説明し、第5章では検証実験の様子について説明し、第6章ではむすびについて述べる。

第2章 提案するシステムの構成

本研究では、小児に、実際には見えないばい菌が歯についている様子を見せることで、歯磨き習慣を身につけてもらうことを目標にしている。この章では実際には見えないばい菌を見せるシステムを説明する。第1章で述べた通り、歯には汚れやすい部分が存在しその部分はしっかり歯磨きを行う必要がある。そこで本システムではまず事前に歯の汚れやすい部分を機械学習により学習する。その上で、実際のシステム利用時には小児の、口を含む顔画像から、リアルタイムに歯の領域を検出する。そして該当部分にばい菌のイラストを表示することによって自身の歯にばい菌がついている様子を見せるシステムを作成することを提案する。

歯の汚れやすい部分は「奥歯」、「歯と歯肉の間」、「歯と歯の間」、「前歯の裏側」などである [1]。そこで本研究ではこれら4領域として検出された領域にばい菌のイラストを表示する。アノテーションデータの作成では検出したい物体が大きくはっきりと写っている画像を使うのが良いとされている [8]。しかし歯の汚れやすい部分の周辺を切り取った画像を学習に使用すると、学習の時に背景が偏ることで歯の汚れやすい部分以外を含む画像から検出を行えなくなったり、似たような物体があったときに誤検出を起こしたりするのではないかと考えた。また、口が表示されている画像だけで学習したときも背景が偏ることで口以外を含む画像から検出を行えなくなる恐れがある。

そこで、まず口領域のみが写った画像から汚れやすい部分の検出をするための学習を行う。また、様々な背景を含む顔画像から口領域を検出するための学習も行う。そして口領域を検出し切り出した上で汚れやすい部分を検出すれば、取得された画像に口以外が写っていても正常に検出を行えるのではないかと考えた。また、口領域が検出できないことも想定して、取得された背景を含む顔画像から直接的に歯の領域を検出するための学習も行う。したがって学習を以下の通りに分けて行う。

学習1：口以外も写っている画像を含むデータセットを用いた「奥歯」,「歯と歯肉の間」,「歯と歯の間」,「前歯の裏側」の4クラスを学習対象とした学習

学習2：口だけが写っている画像のデータセットを用いた「奥歯」,「歯と歯肉の間」,「歯と歯の間」,「前歯の裏側」の4クラスを学習対象とした学習

学習3：口以外も写っている画像を含むデータセットを用いた「口」の1クラスを学習対象とした学習

また、「AR技術を用いた小児の手指衛生習慣促進のためのばい菌表示システム」[7]で使用されたばい菌のイラスト（図2.1, 図2.2, 図2.3, 図2.4）を本システムで使用する。なお、システムの動作確認のため、便宜的に各イラストと表示領域を対応づけている。まず顔の写ったカメラ画像（図2.5）から学習3の学習結果を利用して口領域を検出する。口領域が検出できた場合には、その口領域を対象に（図2.6）学習2の学習結果を利用して歯の汚れやすい領域を検出する。検出された領域にばい菌イラストを表示した様子を図2.7に示す。実際には、顔の写った画像中の当該領域にばい菌イラストを表示する（図2.8）。また、口領域が検出できなかったときには、顔の写った画像に対して学習1の学習結果を利用して直接的に歯の領域の検出を試み、当該領域にばい菌イラストを表示する。

また、カメラ画像中の顔の大きさによりイラストが大きすぎたり小さすぎたりすることを避けるため、イラストの縦と横幅は検出された領域の縦の長さの2倍の大きさとしてばい菌の画像を拡大または縮小する。また、表示されるばい菌のイラストが多すぎて口そのものが見えなくなることを避けるため同一クラスのイラスト同士が重ならないようにイラストの表示を制限する。なお、明らかに大きな領域が歯の領域として検出された場合は誤検出と考えられるため、検出領域が予め設定した閾値以上の面積の場合には歯の領域ではないと判断してイラストは表示しない。

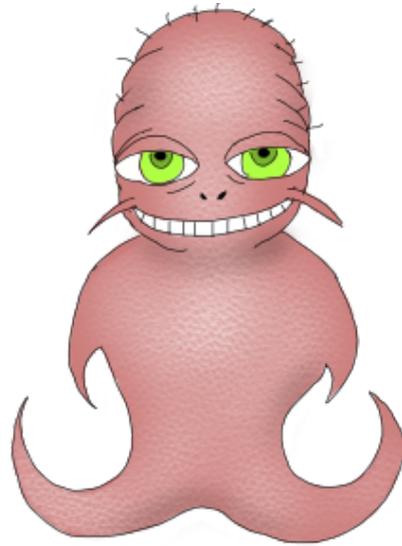


図 2.1: 奥歯に表示させるばい菌のイラスト



図 2.2: 歯と歯肉の間に表示させるばい菌のイラスト

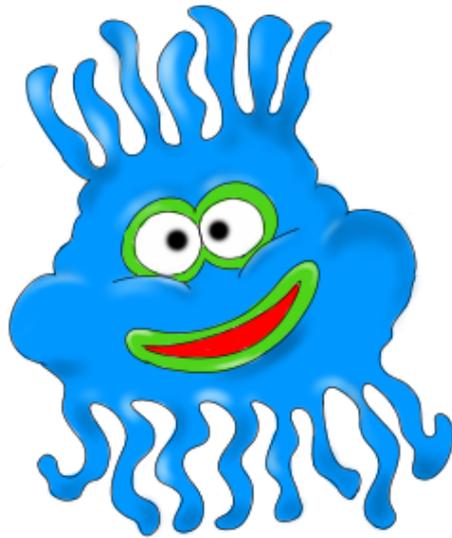


図 2.3: 歯と歯の間に表示させるばい菌のイラスト

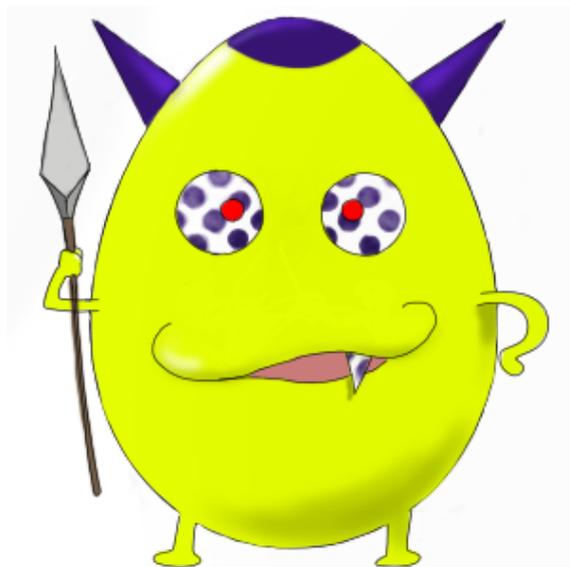


図 2.4: 前歯の裏側に表示させるばい菌のイラスト



図 2.5: 顔の写ったカメラ画像



図 2.6: 口の部分を切り取った画像



図 2.7: 口の部分を切り取った画像にばい菌の表示



図 2.8: 小児に提示する画像

第3章 YOLOv3

本研究では歯の汚れやすい部分にリアルタイムでばい菌を表示する必要がある。そのためには高速な検出を行う必要がある。YOLO[9] というリアルタイムオブジェクト検出アルゴリズムがある。YOLOv3 は同程度の精度を持つ SSD[9] 等の検出と識別を別々に行う機械学習アルゴリズムと比較すると高速で物体を検出できる。よって、本研究では機械学習を行うにあたって物体検出アルゴリズム YOLOv3 を用いる。この章では YOLOv3 について説明する。

3.1 darknet53

YOLOv3 では darknet53[10] という特徴検出器を使用する。darknet53 は表 3.1 のように畳み込み層と Residual Block が繰り返される構造となっている。Residual Block は前の層の入力を参照した残差関数を学習できるようにするために状来のネットワークアーキテクチャにショートカットパスを加えた構造をしている (図 3.1)。darknet53 は畳み込み層が 53 個あり、YOLOv2 で使用されていた Darknet-19 よりも層を深くすることでより高度で複雑な情報を習得している。本来、層が深くなると学習が難しくなる。しかし、darknet53 では Residual Block によって前の層の入力を参照した残差関数を学習する。そのため前の層の特徴量と新しく学習した残差を足し合わせれば特徴量を求められるので学習を簡単にでき、深い層での学習を可能にすることで精度を向上させている。

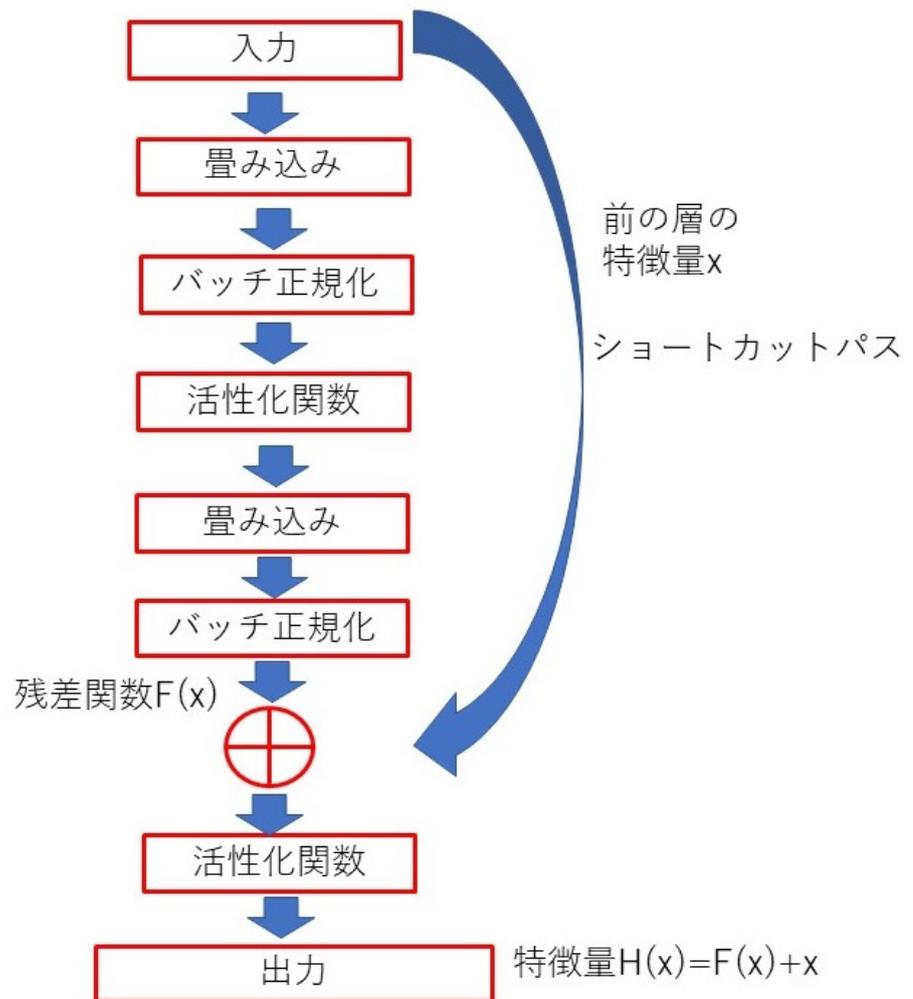


図 3.1: Residual Block

表 3.1: darknet53 の構造

	Type	Filters	Size	Output
	Convolutional	32	3×3	256×256
	Convolutional	64	$3 \times 3/2$	128×128
1 ×	Convolutional	32	1×1	
	Convolutional	64	3×3	
	Residual			128×128
	Convolutional	128	$3 \times 3/2$	64×64
2 ×	Convolutional	64	1×1	
	Convolutional	128	3×3	
	Residual			64×64
	Convolutional	256	$3 \times 3/2$	32×32
8 ×	Convolutional	128	1×1	
	Convolutional	256	3×3	
	Residual			32×32
	Convolutional	512	$3 \times 3/2$	16×16
8 ×	Convolutional	256	1×1	
	Convolutional	512	3×3	
	Residual			16×16
kuti	Convolutional	1024	$3 \times 3/2$	8×8
4 ×	Convolutional	512	1×1	
	Convolutional	1024	3×3	
	Residual			8×8
	Avgpol		Global	
	Connected		1000	
	Softmax			

3.2 YOLO による物体検出

YOLO は直接画像全体から物体と位置を検出する。YOLO は対象物を検出するために画像をグリッドセルとして分割する。そして、それぞれのグリッドセルごとに検出候補としてバウンディングボックスを推定する。次にそれぞれのバウンディングボックスごとに座標値として (x, y, w, h) と信頼度を算出する。 x, y はバウンディングボックスの中心の座標を表し w, h はそれぞれバウンディングボックスの幅と高さを表す。信頼度は予測と正解のバウンディングボックスの一致度によって算出できる。予測したバウンディングボックスを A 、正解のバウンディングボックスを B とすると (図 3.2) 予測と正解のバウンディングボックスの一致度は以下のとおりである。

$$IoU = \frac{A \cap B}{A \cup B} \quad (3.1)$$

また、信頼度 q は次のとおりである。

$$\text{信頼度 } q = \Pr(\text{Obj}) \times IoU \quad (3.2)$$

次に条件付き確率 $\Pr(C_i|\text{Obj})$ を算出する。そしてバウンディングボックスの信頼度と条件付確率によって次のようにしてを満たすときに物体を検出したとみなす。

$$\Pr(C_i|\text{Obj}) \times q \geq \text{閾値} \quad (3.3)$$

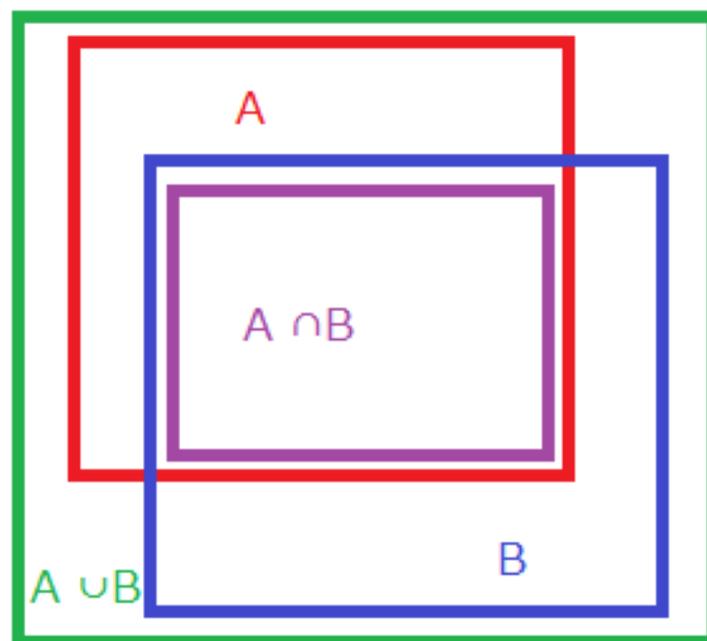


図 3.2: 信頼度の算出

第4章 機械学習による歯の汚れやすい部分の検出

本研究では、小児に、実際には見えないばい菌が歯についている様子を見せることで、歯磨き習慣を身につけてもらうことを目標にしている。第2章で説明したとおり本システムではYOLOv3を使用した学習によりばい菌を見せる歯の領域を検出する。この章ではYOLOv3を使用した機械学習の手順を示す。行う学習は第2章で説明した以下のとおりである。

学習1：口以外も写っている画像を含むデータセットを用いた「奥歯」、「歯と歯肉の間」、「歯と歯の間」、「前歯の裏側」の4クラスを学習対象とした学習

学習2：口だけが写っている画像のデータセットを用いた「奥歯」、「歯と歯肉の間」、「歯と歯の間」、「前歯の裏側」の4クラスを学習対象とした学習

学習3：口以外も写っている画像を含むデータセットを用いた「口」の1クラスを学習対象とした学習

4.1 画像の準備

機械学習を行うにあたって対象とする画像を集める必要がある。今回の研究に使用する画像はインターネット上の画像や筆者がカメラで撮影し、編集を行い作られた。学習1では口以外の部分も写っている1903枚の画像を、学習2では口の部分を抜き出した1178枚の口領域が写った画像を、学習3では学習1で使用した画像のうち1520枚の口の部分がはっきりと写った画像を使用する。図4.1は学習1で、図4.2は学習2で、図4.3は学習3で使用した画像の例である。なお、学習で用いた全ての画像は幅、高さ共に416ピクセルであり、学習2用の画像は口領域以外をマスク処理してある。

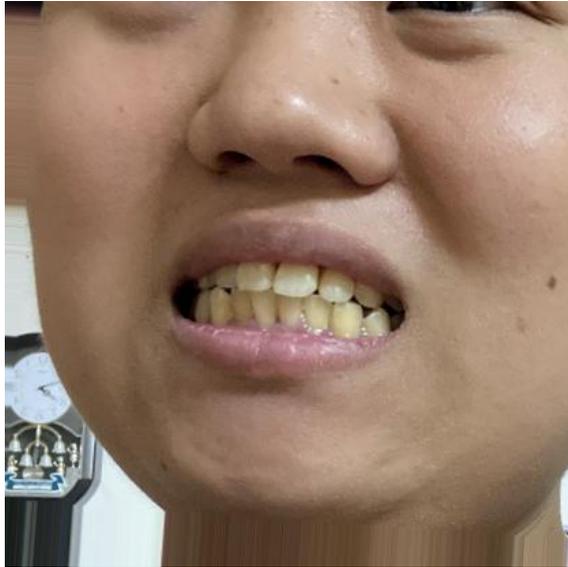


図 4.1: 学習 1 の画像



図 4.2: 学習 2



図 4.3: 学習 3 の画像

4.2 アノテーションデータの作成

画像から希望領域を検出するための学習を行うには、対象の写っている画像を準備するだけでなく、検出したい対象を教師データとして指定する必要がある。YOLOの場合には、画像中の検出対象を囲む矩形を表すアノテーションデータが必要である。アノテーションデータの作成にはlabelImg[11]というツールを用いる。アノテーションデータはクラス番号、オブジェクトの中心x座標、中心y座標、幅、高さが記述されているテキストファイルの形でYOLOに与える。また、座標及び幅と高さは画像全体のサイズに対して0~1の間で正規化されている。学習1と学習2では歯の汚れやすい部位として「奥歯」、「歯と歯肉の間」、「歯と歯の隙間」、「前歯の裏側」を検出対象とした。それぞれの検出対象にクラス番号として0~3を割りあててアノテーションデータの作成を行った。また、学習3では口を検出対象としてアノテーションデータの作成を行った。図4.4は学習1の、図4.5は学習2の、図4.6は学習3のアノテーションデータの作成の様子である。また、図4.7は作成したアノテーションデータファイルの例である。

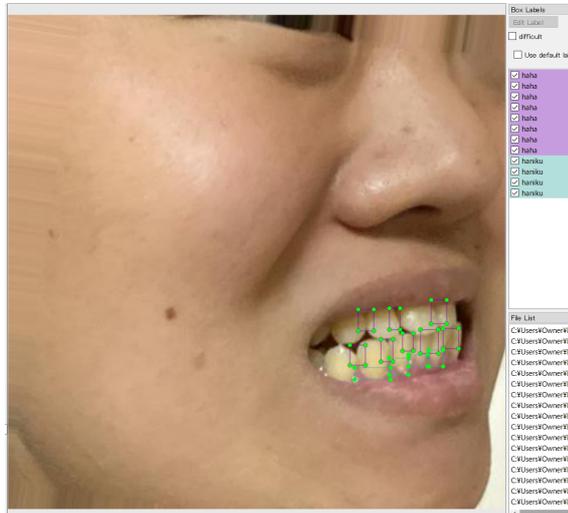


図 4.4: 学習 1 のアノテーションデータの作成



図 4.5: 学習 2 のアノテーションデータの作成

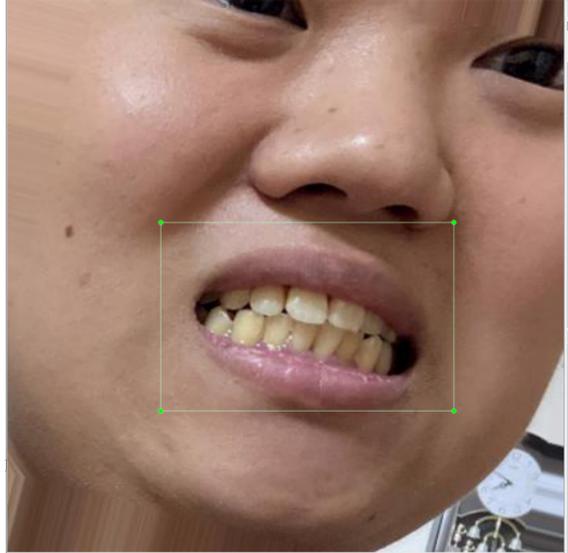


図 4.6: 学習3のアノテーションデータの作成

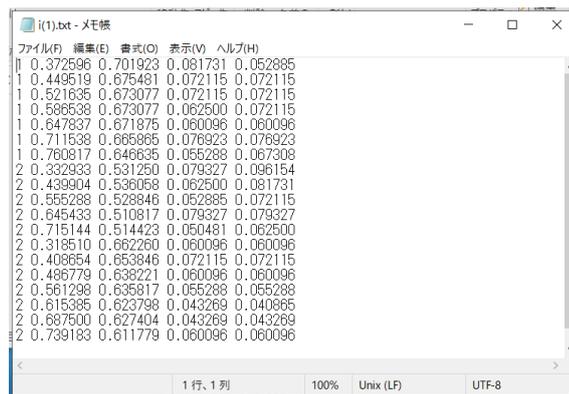


図 4.7: アノテーションデータ

4.3 学習

この節では機械学習の状況と検出結果を示す。学習1, 3で使用したPCの性能は次のとおりである。

- CPU : Intel (R) Core (TM) i5-6500 CPU @ 3.20GHz
- GPU : GeForce GTX 1050
- メモリ : 6040MB

学習2で使用したPCの性能は次のとおりである。なお、異なるPCを利用した特段な理由はない。

- CPU : Intel (R) Core (TM) i5-7200 CPU @ 2.50GHz
- GPU : Intel (R) HD Graphics Family
- メモリ : 4176MB

これらのPCを使用してそれぞれの学習を行った(表4.1)。それぞれの学習による適合率, 再現率, f値は表4.2のとおりである。学習1と学習2の適合率, 再現率, f値を比較すると学習1より学習2のほうがより良い検出率を得られたことが分かる。学習3による口の検出率は歯の検出率よりも明らかに高い。すなわち、顔画像から直接的に歯を検出するよりも、まず口を検出した後に歯を検出する方が良いと判断できる。また、これらの検出率はばい菌のイラストを表示することによって自身の歯にばい菌がついている様子を見せるシステムに十分と考えられる。図4.8, 図4.9, 図4.10は学習1, 図4.11, 図4.12, 図4.13は学習2, 図4.14は学習3による検出の例である。なお、学習1よりも学習2のほうが学習にかかる時間は大きかった。これは使用したPCの違いによるものと考えられる。

表 4.1: 学習の状況

学習	学習用画像	テスト用画像	バッチサイズ	エポック数	学習時間
学習1	1523枚	380枚	16	330回	約5時間
学習2	944枚	234枚	8	230回	約27時間
学習3	1216枚	304枚	8	80回	約1時間

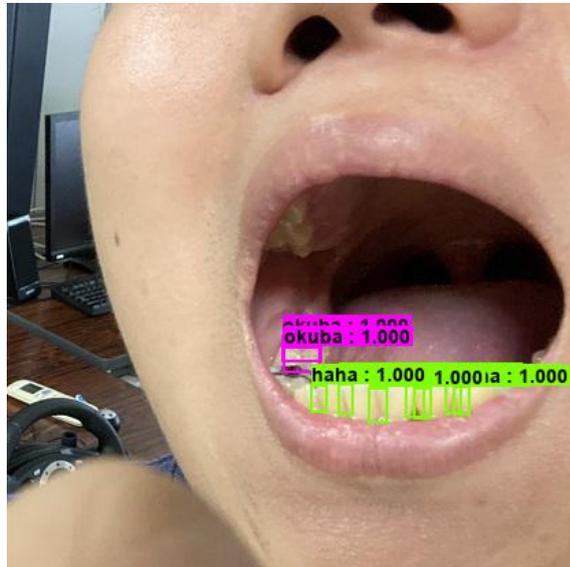


図 4.8: 学習 1 による歯の汚れやすい部分の検出の例 (1)

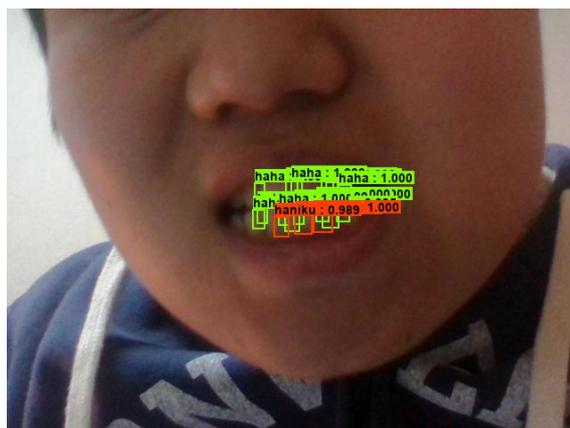


図 4.9: 学習 1 による歯の汚れやすい部分の検出の例 (2)



図 4.10: 学習 1 による歯の汚れやすい部分の検出の例 (3)



図 4.11: 学習 2 による歯の汚れやすい部分の検出の例 (1)

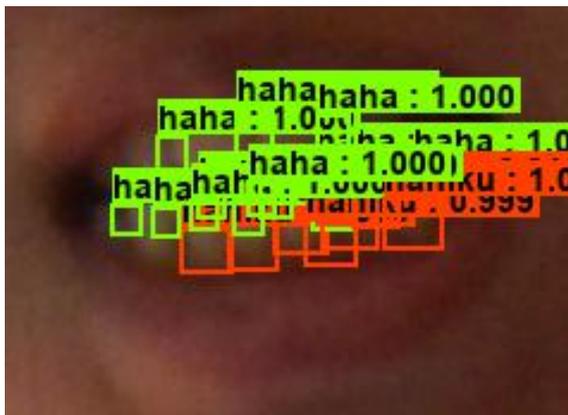


図 4.12: 学習 2 による歯の汚れやすい部分の検出の例 (2)



図 4.13: 学習 2 による歯の汚れやすい部分の検出の例 (3)



図 4.14: 学習 3 による口の検出の例

表 4.2: 検出率

学習	適合率	再現率	f 値
学習 1	0.249826	0.533185	0.340230
学習 2	0.348726	0.649756	0.453858
学習 3	0.980328	0.980328	0.980328

第5章 検証実験

提案に基づくシステムを構築した。本章では動作確認と検証実験について述べる。

5.1 動作確認

本システムで歯の汚れやすい部分に適切にばい菌を表示することができるのか確認を行った（図 5.1）。以下に使用した PC の性能を示す。

- CPU : Intel (R) Core (TM) i5-7200 CPU @ 2.50GHz
- GPU : Intel (R) HD Graphics Family
- メモリ : 4176MB

適切に歯の領域が検出され，ばい菌のイラストが期待通りに表示された（図 5.2, 図 5.3, 図 5.4）。システムの動作速度は 2.04 fps であった。



図 5.1: 動作確認の様子

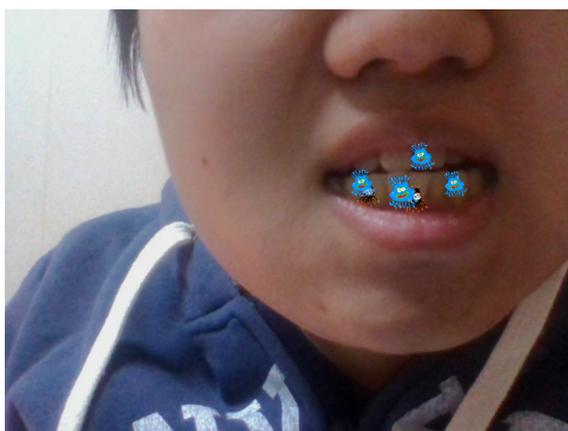


図 5.2: ばい菌の表示 1



図 5.3: ばい菌の表示 2



図 5.4: ばい菌の表示 3

5.2 検証実験

システムが実際に小児の歯磨きの必要性を学ばせるのに有効かどうか確認する。小学生の子供とその保護者に協力してもらい実験を行った(図5.5)。対象の小学生は2人である。実験では最初に保護者に本システムの説明を行った。その上で保護者に本システムを利用して子供たちに歯磨きについて指導してもらった。その後、保護者に以下の事柄について質問を行った。

- 本システムは歯磨き教育に使用できそうか
- 改良した方がよい所はあるか

また、子供達に以下の事柄について質問を行った。

- これからも歯磨きをしようと感じたか
- ばい菌が表示されるシステムは面白かったか

保護者から、本システムは歯磨きの教育に使いそうであるとの感想を得られた。また、改善点としてばい菌イラストの表示された顔画像を保存する機能をつけた方がよいとのコメントを頂いた。子供たちからは、毎日歯磨きをしようとしようと感じた、自分の歯にばい菌が表示されて面白かった、との感想を得られた。この結果からシステムが実際に小児の歯磨きの必要性を学ばせるのに有効であると考えられる。



図 5.5: 小学生を対象とした実験の様子

第6章 むすび

本研究では、小児に、歯磨き習慣を身につけてもらうことを目標に、自身の歯に実際には見えないばい菌がついている様子を見せるシステムを提案した上で実験システムを構築した。実験システムにより歯の汚れやすい部分にばい菌が期待通りに表示されたことを確認した。また、2人の小学生とその保護者に実際に実験システムを利用してもらい、アンケートに回答してもらった。今後の課題について述べる。本システムでは検出率を向上させるために、口領域の検出を行ってから歯の領域の検出を行っており処理に時間がかかる。そのため処理時間を早くできるようにシステムの改善を行いたい。部屋が暗い場合など歯が明るく照らされていない場合に、歯が判別しづらく正しく検出できないことがあった。学習において周囲が暗い条件下での画像も用意する必要がある。本システムの有用性を詳しく確認するために多くの家庭や保育園などを対象として評価実験を行う必要もある。さらに、顔を動かしたときにも検出された歯の領域を適切にトラッキングした上で、利用者の歯磨き動作によりイラストのばい菌を退治するようなゲーム性を持たせることで、教育効果の向上を目指したい。

謝辞

本研究を行うにあたって日ごろからご指導を戴いた名古屋工業大学工学部舟橋健司 准教授，伊藤宏隆 助教に深謝する。また，本研究の実験に協力して戴いた一家の皆さんに感謝する。また，画像の収集に協力してくださった舟橋研究室の皆さんに感謝する。最後に研究の間見守ってくれた家族に感謝する。なお，本研究のアイデアの一部は石川県の山崎祐輔氏によります。ありがとうございました。本研究の一部は JSPS 科研費 JP20K11918 の助成をうけたものである。

参考文献

- [1] 厚生労働省, むし歯の特徴・原因・進行 — e-ヘルスネット (厚生労働省)
(mhlw.go.jp)
<https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/teeth/h-02-001.html>
(最終閲覧日: 2021年1月24日)
- [2] 医療法人ほんだ歯科, 食後の歯磨きについて | 口臭関連情報 | ほんだ歯科 ~
Dr.HONDA の口臭バイブル~
<https://honda.or.jp/breath/detail/02-12.html>
(最終閲覧日: 2021年1月30日)
- [3] 松原こずえ, “歯磨きの仕方と健口体操”, Dental Medicine Research 31(3): 249-260(2011)
- [4] YUZ DENTAL, 乳歯は抜けるので虫歯になっても問題ないですか? — 月島 勝
どきで歯周病治療ならユズデンタル | (yuz-dental.com)
<https://yuz-dental.com/dentalcolumn/20200201/>
(最終閲覧日: 2021年1月24日)
- [5] 文部科学省, 学校保健統計調査—令和元年度(確定値)の結果の概要: 文部科学
省 (mext.go.jp)
https://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa05/hoken/kekka/k_detail/1411711_00003.htm
(最終閲覧日: 2021年1月24日)
- [6] 深井稷博, 眞木吉信, 高江洲義矩, “歯科保健に関する教育が保健行動に及ぼす
影響”, 口腔衛生学会雑誌 Journal of Dental Health 45. 7~13 (1995)

- [7] 島田祥伍, 舟橋健司, “AR 技術を用いた小児の手指衛生習慣促進のためのばい菌表示システム”, 平成 30 年度修士論文 (2018)
- [8] tfukumori, YOLO のオリジナルデータ学習手順 # 2 アノテーション - Qiita
<https://qiita.com/tfukumori/items/0911c8fe1f5319530d4b>
(最終閲覧日 : 2021 年 1 月 24 日)
- [9] Joseph Redmon, Ali Farhadi, “YOLOv3: An Incremental Improvement”,
arXiv:1804.02767 (2018)
- [10] cyberailab, A Closer Look at YOLOv3 - Qiita, <https://qiita.com/cyberailab/items/850806c08af08853bac8>
(最終閲覧日 : 2021 年 2 月 2 日)
- [11] GitHub - tzutalin/labelImg
<https://github.com/tzutalin/labelImg>
(最終閲覧日 : 2021 年 1 月 24 日)