

プログラミング教育における教室内の空気の調査

土肥紳一^{†1}

概要：プログラミング教育では、学生が情報端末を購入し、大学へ持ち込む BYOD(Bring Your Own Device)が普及している。教室内の気温は、人や情報端末によって上昇する。教室内の気温や湿度は空調によって容易に制御できるが、二酸化炭素濃度の上昇は気付かなく、換気を行わないと下げられない。厚生労働省の二酸化炭素濃度の基準は 1000ppm である。一般的に、二酸化炭素濃度が 1000ppm を超えると眠気などを誘発すると言われている。眠気の誘発は、モチベーションの低下につながる。本論文では、教室内の空気の調査結果について述べる。

キーワード：二酸化炭素濃度、気温、湿度、プログラミング教育、モチベーション

Air measurement in classroom for computer programming education

SHINICHI DOHI^{†1}

Abstract:

BYOD(Bring Your Own Device) that student bought the information terminal for computer programming education spread in many university. Temperature in the classroom rises by generation of heat of students and information terminals. The temperature and humidity in the classroom can be easily controlled with the air conditioner. But the rise in carbon dioxide concentration is hard to notice, and doesn't fall without ventilation. The standard of the carbon dioxide concentration of the Ministry of Health, Labour and Welfare is 1000 ppm. If carbon dioxide concentration is over 1000 ppm, it is generally said that drowsiness is caused. The drowsiness causes the decrease of student's motivation. In this paper, the result of measurement of air in the classroom is presented.

Keywords: Carbon dioxide concentration, Temperature, Humidity, Programming education, Motivation

1. はじめに

情報環境学部のプログラミング入門教育は、学生さんが所有するノート PC を持ち込む BYOD(Bring Your Own Device)を取り入れている。教室には、Wi-Fi、情報コンセント、AC コンセントが備え付けられており、他の授業でも多目的に活用できる。最近では、コンピュータ教室の設備を持たない大学も増えて来ている[1]。

教室内の気温に着目すると、学生さんが持ち込んだノート PC や AC アダプター、そして受講者自身が発熱している。その他、教室内に設置されたプロジェクタや教卓周辺の機器類も発熱している。教室の設置状況によっては西日が当たり、教室内の気温はさらに上昇する。湿度について着目すると、受講者の呼吸や皮膚から水蒸気が放出され、教室内の湿度は上昇する。梅雨などの時期には雨天が多く、その影響を受けて湿度が上昇する。気温や湿度は、空調を活用することによって、容易に下げることができる。

受講者の呼吸には二酸化炭素(CO₂)が含まれており、これが放出される。大勢集まると教室内の CO₂濃度は上昇する。本論文では CO₂濃度、気温、湿度についての測定結果と、CO₂濃度を下げる工夫と効果について述べる。

2. CO₂濃度の基準

外気の CO₂濃度は、約 400ppm とされている。建物内の CO₂濃度は、厚生労働省によて 1000ppm の基準が設けられている[2]。一般的に 1000ppm を超えると眠気を誘発し、モチベーションを低下させる要因になる。教室内が暑い場合は、空調を入れ、温度を設定することにより、容易に気温を制御できる。通常、除湿機能も付いており、湿度も下げることができる。

温度や湿度は、比較的容易に感じ取ることができるが、教室に居る人にとって CO₂濃度を感じ取るとは難しい。一例であるが、外気に近い環境の廊下から、学生さんが多く集まる教室へ入った瞬間、空気の悪さを実感することがある。しかし、最初から教室内に居ると、空気の悪さを実感しない。CO₂濃度は、教室内に居る人にとって、その上昇をほとんど感じることができないため、CO₂濃度を測定できる装置で測定する以外に方法は無い。

3. 空気の測定

3.1 測定対象の教室

測定対象の教室は、千葉ニュータウンキャンパスのクリエーションラボの 2 階にある i-room である。この教室は、

^{†1} 東京電機大学情報環境学部
Tokyo Denki University School of Information Environment

西日が当たる方に窓がある。断熱効果と保温効果に乏しい教室である。教室のレイアウトは図 1 に示す。テーブルが 8 個、その周りを 8 名の受講者(○と○の中が黄色)が着席する。スクリーンが 3 面ついており、教卓に教授者(●)が着席する。Sie01 から Sie14 が測定装置の位置を示している。Sie01 から Sie08, Sie10 および Sie12 は、床から約 70cm の高さである。Sie09 は約 140cm, Sie11 は約 110cm である。Sie13 は意図的に天井近くに設置し約 260cm である[3][4]。空調は天井に 4 つ設置されており、青色の四角で表示した。各辺から 4 方向に空気が放出される。

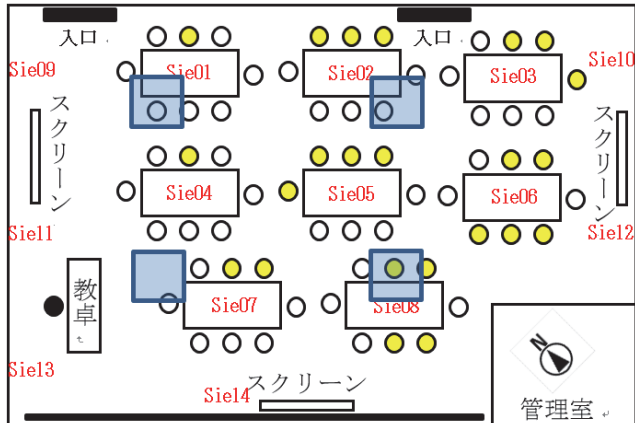


図 1 教室(i-room)のレイアウト

3.2 測定対象の授業

測定対象の授業は、手続き型プログラミングの入門を学習する「コンピュータプログラミング A」である。この授業は 5 名の教授者がクラス分割で対応しており、筆者のクラス(受講者数は約 60 名)を測定対象とした。授業は、月曜日と水曜日の 14:30~16:20 に開講し、途中 10 分間の休憩を入れる。なお月曜日は同教室で大学院の「教育システム工学特論」の授業を筆者が担当しており、この授業を含めて測定を行った。こちらの受講者は約 20 名であり、およその着席位置を○の中を黄色で示した。講義ノートを開覧するためにノート PC を持参し、授業を受けている。授業時間は 11:30~13:10 の 100 分授業である。

3.3 測定装置

測定装置の様子を図 2 に示す。右側の 2 台が子機である。ノート PC と接続している右下の装置が親機である。親機と子機の間は無線で接続されており、ノート PC から記録開始、測定結果の取り出し等の操作が行える。子機を教室内に設置した様子を図 3 に示す。直射日光の影響を避けるために、カーテンは閉めている。

4. 測定結果

4.1 CO₂ 濃度の測定

測定は原則として授業毎に行っている。ここでは 2016 年 9 月 12 日(月)の 11:20 から 16:30 までと、2016 年 9 月 14 日(水) 13:15 から 16:20 までの結果を示す。12 日は残暑が厳しく空調を活用し、教室のドアと窓は閉めて授業を



図 2 測定装置の様子



図 3 測定装置の様子

行った。この結果、CO₂ 濃度濃度が高い状況が確認された。9 月 14 日も残暑が厳しく空調を活用し、当初は教室のドアと窓は閉めた状態で授業を行っていた。休憩時間に入り CO₂ 濃度を確認したところ、高い値を示していたので、15:25 頃、ドアと窓を開放した。その後、換気した状態で授業を行った。

4.2 CO₂ 濃度の測定結果

測定間隔は 1 分である。各測定位置における特徴を探るために、CO₂ 濃度の最小値、最大値、平均値を表 1 に示す。9 月 12 日の最大値に着目すると、すべての測定箇所でも 1000ppm を超えており、Sie03 の 1563ppm が最大であった。Sie03, Sie06, Sie10, Sie12 は、他の測定装置と比較して最大値と平均値が高くなっており、教室内の場所によって CO₂ 濃度に偏りがあることが分かった。最小値に着目すると、Sie13 の 433ppm が最小となり、Sie07 の 490ppm が最大となった。平均値に着目すると、Sie10 の 929ppm が最大に、Sie13 の 740ppm が最小となった。

9 月 14 日の最大値に着目すると、すべての測定箇所でも 1000ppm を超えており Sie06 の 1483ppm が最大だった。

表 1 CO₂濃度

	2016年9月12日			2016年9月14日		
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値
Sie01	466	1379	843	440	1323	809
Sie02	445	1488	858	422	1343	820
Sie03	451	1563	923	431	1469	888
Sie04	452	1289	804	427	1267	776
Sie05	449	1414	862	426	1365	844
Sie06	468	1544	921	438	1483	911
Sie07	490	1366	843	459	1267	814
Sie08	484	1475	896	452	1364	857
Sie09	487	1433	864	463	1247	811
Sie10	461	1557	929	437	1476	890
Sie11	470	1306	804	450	1183	767
Sie12	447	1516	898	426	1461	881
Sie13	433	1187	740	413	1079	693
Sie14	451	1353	810	425	1227	762

Sie03, Sie06, Sie10, Sie12 は、他の測定装置と比較して最大値と平均値が高くなっており、9月12日と同様の傾向が窺えた。最小値に着目すると、Sie13の413ppmが最小となり、Sie09の463ppmが最大となった。平均値に着目すると、Sie06の911ppmが最大に、Sie13の963ppmが最小となった。2日間の測定で分かったことは、すべての測定箇所で1000ppmを超えたこと、教室内の場所によってCO₂濃度に偏りがあることである。Sie13はCO₂濃度が他と比べて顕著に低く、天井付近はCO₂濃度が低かった。

4.3 気温の測定結果

気温の最小値、最大値、平均値を表2に示す。なお9月12日は、Sie09の気温と湿度センサーの接続が不十分であったため、測定できていなかった。9月12日の最大値に着目すると、Sie05の28.5℃が最大になった。Sie05, Sie06, Sie08, Sie12からSie14は、28.0℃を超えた。他の測定装置と比較して平均値も高くなっており、教室内の場所によって気温に偏りがあることが分かった。最小値に着目すると、Sie03の25.3℃が最小となり、Sie13の27.5℃が最大となった。平均値に着目すると、Sie13の28.1℃が最高に、Sie01とSie03の26.5℃が最小となった。14日の最大値に着目すると、Sie14の28.8℃が最大になった。Sie04からSie06, Sie12からSie14は、28.0℃を超えた。他の測定装置と比較して平均値も高くなっており、12日と同様の傾向が窺えた。最小値に着目すると、Sie01の24.9℃が最小となり、Sie14の27.8℃が最大となった。平均値に着目すると、Sie14の28.2℃が最大に、Sie01の26.2℃が最小となった。2日間の測定で分かったことは、最大値の27℃以上が多く、かなり暑いことが示された。授業開始の1時間前から空調を入れてもらっているが、受講者が集まること

表 2 気温

	2016年9月12日			2016年9月14日		
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値
Sie01	25.8	27.0	26.5	24.9	27.2	26.2
Sie02	25.8	27.5	26.9	25.6	27.5	26.8
Sie03	25.3	27.8	26.5	25.5	27.5	26.6
Sie04	26.4	27.9	27.3	26.2	28.0	27.3
Sie05	26.6	28.5	27.6	26.2	28.2	27.3
Sie06	25.9	28.4	27.3	25.9	28.2	27.1
Sie07	25.4	27.5	26.7	25.7	27.3	26.6
Sie08	26.5	28.0	27.2	25.8	27.6	26.9
Sie09	-----	-----	-----	25.8	26.9	26.4
Sie10	26.1	27.6	27.1	26.1	27.6	26.9
Sie11	26.8	27.7	27.4	26.1	27.2	26.8
Sie12	26.6	28.0	27.4	27.0	28.2	27.6
Sie13	27.5	28.4	28.1	27.0	28.2	27.7
Sie14	27.0	28.1	27.6	27.8	28.8	28.2

によって受講者、ノートPC等から熱が放たれ、西日の影響も加わり、気温の上昇を招いていることが分かった。

4.4 湿度の測定結果

湿度の最小値、最大値、平均値を表3に示す。なお12日のSie09は、気温と同様に測定できなかった。

9月12日の最大値に着目すると、Sie07の64.0%が最大に、Sie14の59.4%が最小になった。最小値に着目すると、Sie13の50.0%が最小となり、Sie01の54.1%が最大となった。平均値に着目すると、Sie01とSie07の56.8%が最大に、Sie05の53.6%が最小となった。

表 3 湿度(%)

	2016年9月12日			2016年9月14日		
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値
Sie01	54.1	63.3	56.8	55.8	67.2	60.2
Sie02	53.1	63.7	56.2	54.4	67.9	59.2
Sie03	53.1	61.4	56.3	55.3	66.1	58.8
Sie04	52.8	63.0	56.1	53.6	66.5	58.7
Sie05	50.4	59.9	53.6	52.9	65.8	57.3
Sie06	50.5	60.0	54.3	53.0	65.7	57.3
Sie07	52.9	64.0	56.8	53.7	67.4	59.3
Sie08	52.2	63.0	55.7	53.0	67.2	58.7
Sie09	-----	-----	-----	54.3	67.8	59.8
Sie10	52.3	60.3	54.4	54.5	63.5	58.2
Sie11	51.5	61.4	54.9	53.0	66.5	59.2
Sie12	51.1	59.8	53.7	49.2	63.1	55.2
Sie13	50.0	59.9	53.7	51.2	62.4	57.1
Sie14	50.4	59.4	54.2	46.9	63.0	54.5

9月14日の最大値に着目すると、Sie07の67.9%が最大に、Sie13の62.4%が最小になった。最小値に着目すると、Sie14の46.9%が最小となり、Sie01の55.8%が最大となった。平均値に着目すると、Sie01の60.2%が最大に、Sie14の54.5%が最小となった。

4.5 CO₂濃度の時間的な変化

表1に示した9月12日の平均値が最も大きかったSie10と、最も小さかったSie13に着目し、CO₂濃度の時間的な変化を調査した。その結果を、図4と図5に示す。なお、授業時間帯の11:30~13:10と14:30~16:20は赤い枠で示した。11:30~13:10の大学院の授業では、受講者が約20名と少ないため、Sie10のCO₂濃度は800ppmを少し超える程度であった。Sie13は600ppmを少し超える程度で、Sie10よりも約200ppm低いことが分かった。Sie10とSie13は共に1000ppmを下回った。一方、14:30~16:20のコンピュータプログラミングAの授業では、受講者が約60名に増え、Sie10のCO₂濃度は授業開始に合わせ1500ppm付近まで急上昇することが分かった。

Sie13も授業開始に合わせ1200ppm付近まで上昇することが分かった。Sie10よりも約300ppm低いことが分かった。Sie10とSie13は共に1000ppmを超えた。16:10頃になると、当日の課題が終了し、退室する受講者が増えるため、急激にCO₂濃度が低下することが分かった。退室時に、ドアの開閉が行われ、外気が教室に入ること、受講者自体の数が減少することが原因として考えられる。

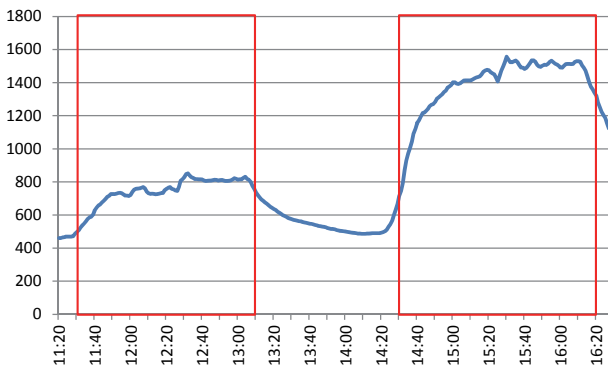


図4 Sie10のCO₂濃度の変化(9月12日)

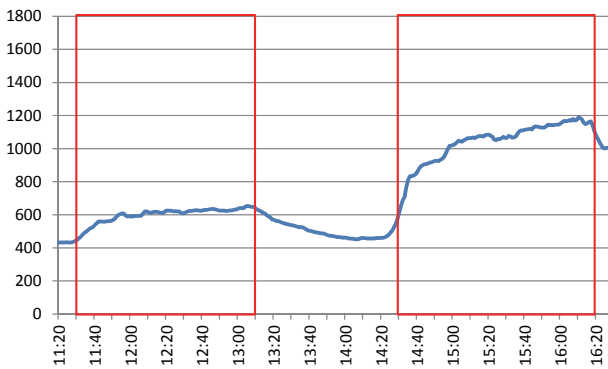


図5 Sie13のCO₂濃度の変化(9月12日)

4.6 気温、湿度、不快指数の時間的な変化

同様にSie10とSie13に着目し、気温、湿度、不快指数の時間的な変化を調査した。その結果を、図6と図7に示す。赤枠は授業時間帯を示す。Sie10とSie13の気温は、大きな変化は見られないが、Sie13の方がSie10よりも高いことが窺える。湿度は、50%から60%の間を変化していることが分かった。空調の除湿機能が働いていることが原因であると考えられる。

なお、不快指数(DI:Discomfort Index)は、蒸し暑さを表す指標として使われる。気温(T_a)と湿度(H)を使って(1)式で求めることができる。

$$DI = 0.81T_a + 0.01H(0.99T_a - 14.3) + 46.3 \quad (1)$$

不快指数は70以上で一般に不快となり、75以上で半数の人が必ず不快、85以上でほとんどの人が不快になると言われている。Sie13の方がSie10よりも高いことが窺える。

5. 換気の効果

5.1 CO₂濃度の測定結果

9月14日は、休憩時間に二酸化炭素濃度が高い状況が確認されたので、15:25頃、ドアと窓を開放し換気を行った。表1に示した12日の平均値が最も大きかったSie10と、最も小さかったSie13に着目し、CO₂濃度の時間的な変化を調査した。その結果を、図8と図9に示す。なお、授業時間帯の14:30~16:20は赤い枠で示した。受講者数は約60名である。Sie10のCO₂濃度は授業開始に合わせ急激

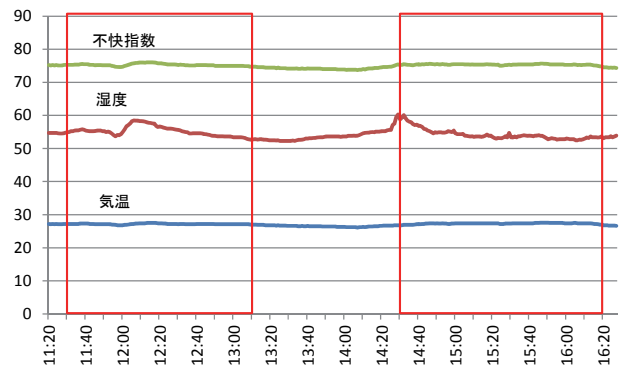


図6 Sie10の気温、湿度、不快指数の変化(9月12日)

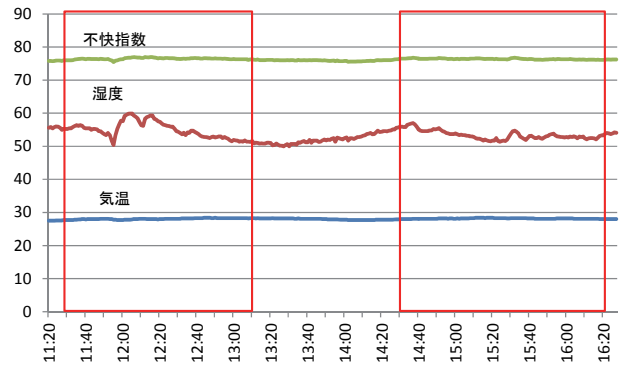


図7 Sie13の気温、湿度、不快指数の変化(9月12日)

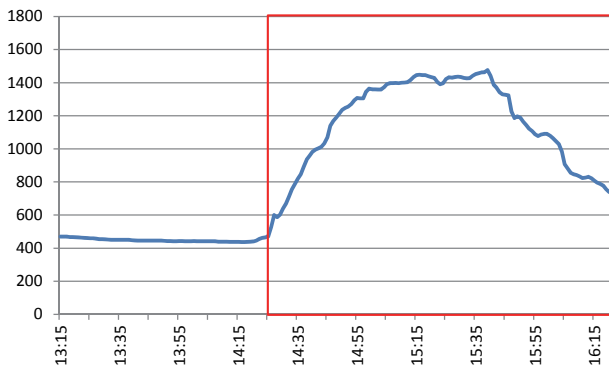


図 8 Sie10 の CO₂ 濃度の変化(9月14日)

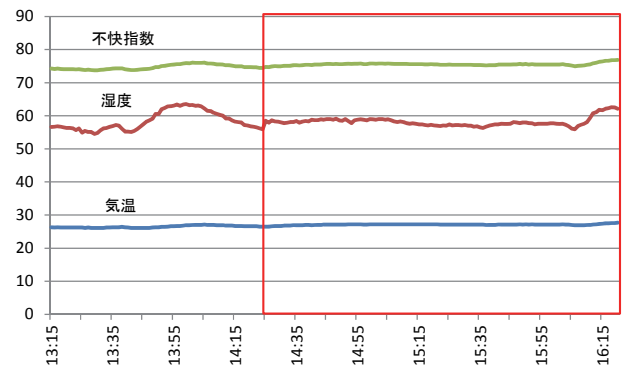


図 10 Sie10 の気温、湿度、不快指数の変化(9月14日)

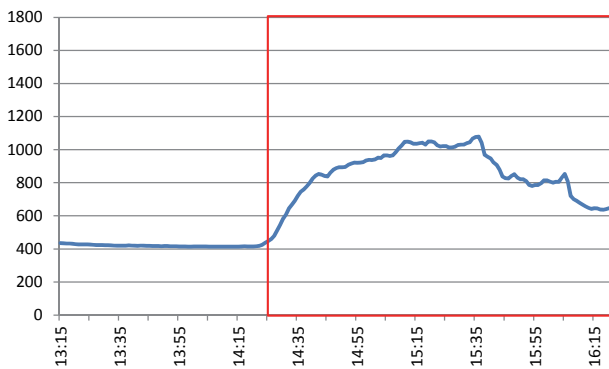


図 9 Sie13 の CO₂ 濃度の変化(9月14日)

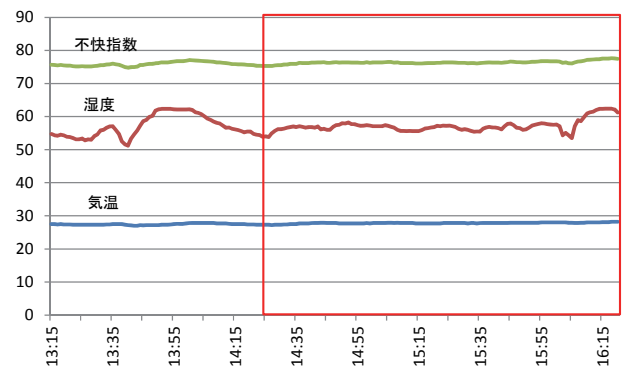


図 11 Sie13 の気温、湿度、不快指数の変化(9月14日)

に上昇し、15:00 頃には 1400ppm を少し超えるところまで急上昇した。Sie13 も授業開始に合わせて上昇するが Sie10 と比較すると緩やかに上昇していた。15:15 頃には 1000ppm を少し超えるところまで達するが、Sie10 と比較すると約 200ppm 低いことが窺えた。

15:35 頃から CO₂ 濃度は低下を始め Sie10 は 16:00 頃、1000ppm を下回った。Sie13 は 800ppm 程度に下がった。換気を行うことによって、CO₂ 濃度は大きく改善できることが分かった。本学では、空調を入れている時は窓を閉めるように事務局から通達があるが、CO₂ 濃度のことを考えると疑問が残る。適切に外気を取り入れ、空気を循環する仕組みを取り入れないと、受講者の眠気を誘発し、モチベーションの低下を招くことが危惧される。

5.2 気温、湿度、不快指数の時間的な変化

同様に Sie10 と Sie13 に着目し、気温、湿度、不快指数の時間的な変化を調査した。その結果を、図 10 と図 11 に示す。赤枠は授業時間帯を示す。Sie10 と Sie13 の気温と不快指数は、大きな変化は見られないが、Sie13 の方が高いことが窺える。湿度は、Sie10 は 60%前後の値を推移している。一方、Sie13 は Sie10 よりも少し低い値で推移している。空調の除湿機能が働いていることが窺える。

6. CO₂ 濃度の分布

6.1 CO₂ 濃度の測定結果

教室内を 14×24 のマス目に分割し、最も近い測定装置を

決め、その測定結果を入力する。測定装置の無い部分は、線形補完を行い CO₂ 濃度のデータとした。データは、*Mathematica* の ListContourPlot[]関数を使って表示した。

9月12日に Sie10 の CO₂ 濃度が最小の 461ppm を記録した時刻は、11:20 であった。この時刻における、Sie01 から Sie14 の測定結果を基に、CO₂ 濃度の分布を図 12 に示す。この結果は、授業が始まる前の CO₂ 濃度の状態を示しており、外気に近い値である。また、教室内の CO₂ 濃度の偏りは見られない。右上の青い部分は、管理室になっており測定していない。図の上では 0ppm として図示し、管理

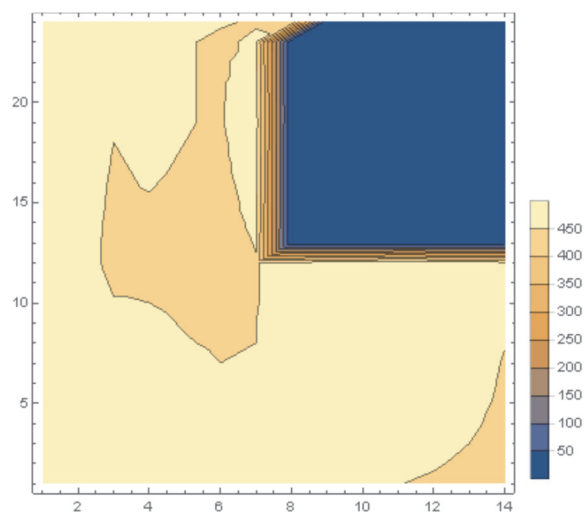
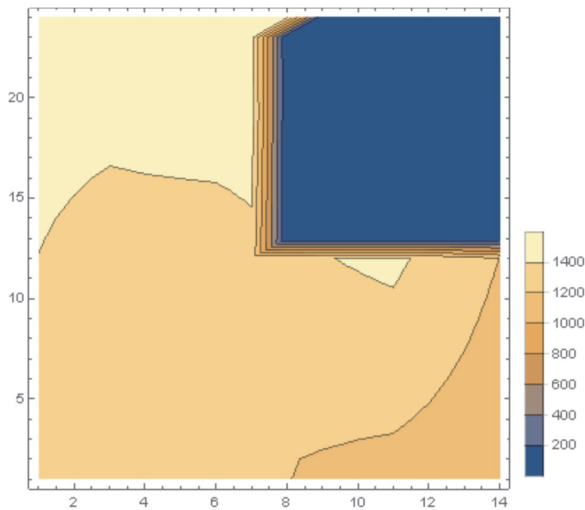
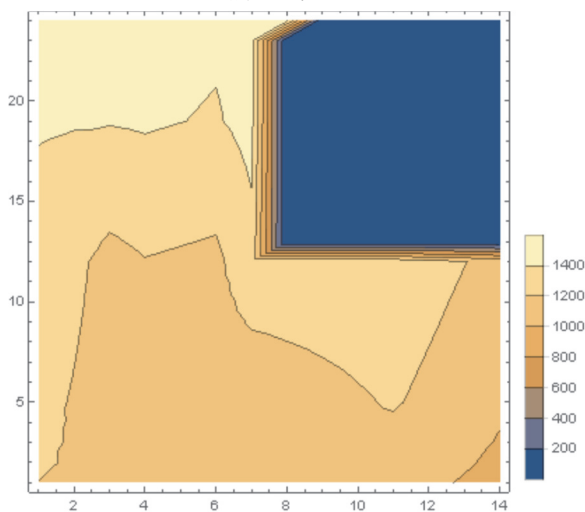
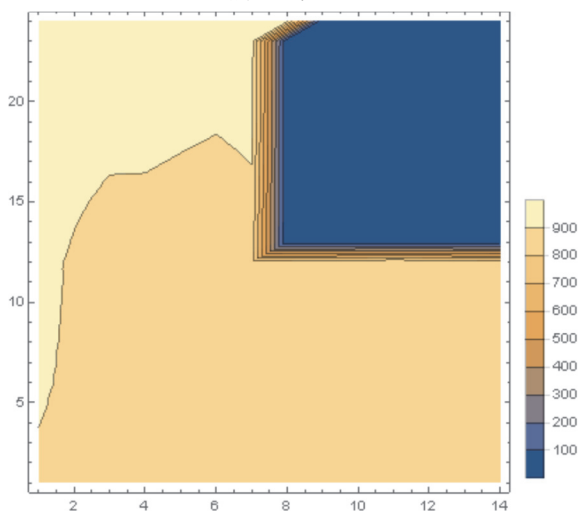


図 12 CO₂ 濃度の分布(9月12日 11:20)

図 13 CO₂ 濃度の分布(9月12日 15:30)図 14 CO₂ 濃度の分布(9月14日 15:39)図 15 CO₂ 濃度の分布(9月14日 16:04)

室の領域を区別した。同様に Sie10 の CO₂ 濃度が最大の 1557ppm を記録した時刻は、15:30 であった。この時刻における、CO₂ 濃度の分布を図 13 に示した。全体的に CO₂ 濃度が高く、1000ppm を超えている。さらに、場所による偏りが窺える。

9月14日に Sie10 の CO₂ 濃度が最小の 437ppm を記録した時刻は、14:16 であった。この時刻における、Sie01 から Sie14 の測定結果を基に、授業が始まる前の CO₂ 濃度の分布を分析した。その結果は、図 12 と大差が無かったため省略した。Sie10 の CO₂ 濃度が最大の 1476ppm を記録した時刻は、15:39 であった。この時刻における、CO₂ 濃度の分布を図 14 に示した。図 13 と同様に、場所による偏りが観測された。図 13 と図 14 で共通していることは、CO₂ 濃度の高い領域が図の左上に存在しており、教室内の空気が滞留していることが考えられる。15:25 にドアと窓を開け、換気を行った。図 8 と図 9 に示した通り、換気によって CO₂ 濃度が急速に低下する。Sie10 の CO₂ 濃度が 986ppm、すなわち 1000ppm を下回った時刻は 16:04 であった。この時の CO₂ 濃度の分布を図 15 に示した。図 14 と比較すると、25 分の差で、大幅に改善されていることが分かった。

7. まとめ

プログラミング教育を実施している教室の空気に着目し、CO₂ 濃度、気温、湿度の測定を行った。その結果、ドアと窓を閉めた状態では、授業開始と共に CO₂ 濃度は急上昇することが明らかになった。この改善策として、ドアや窓を開け、外気を入れることによって、大幅に改善できることも分かった。

しかし、このような換気の解決策は、常時行えるとは限らない。外が強風の場合は、吹き込んだ風によって、プロジェクタのスクリーンが大きく揺れる。また、蚊の季節では、窓を開けたことによる侵入も発生する。冬場になると、外気温が低いため、CO₂ 濃度を下げるときの換気が、室温を下げることになる。このようなジレンマをどのように克服できるかが重要な課題である。

CO₂ 濃度の上昇は、測定装置で測らないと分からない。今後は、空気の測定を継続しながら、教室内の高さの違いによる空気の違いや、季節の変化による違いがどのように現れるのかを探る予定である。プログラミング入門教育を実施している教室の空気の改善が、受講者のモチベーションの向上に繋がることを示していきたい。

参考文献

- [1] 田中 雅章, 神田 あづさ, 大森 晃, 松尾 徳朗, 加藤 成明. 演習室のない情報処理演習の運営. PC カンファレンス講演論文集, pp.189-190, 2016
- [2] <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>, 建築物環境衛生管理基準, 厚生労働省, 2017年5月25日 23:00 閲覧.
- [3] 土肥紳一, 情報教育のための教室内の ICT を活用した空気の測定および改善, 大学 ICT 推進協議会, 2016 年度年次大会講演会講演論文集, 3F3-1, 2016
- [4] 土肥紳一, プログラミング入門教育の教室環境の調査, 情報処理学会, 第 79 回全国大会講演論文集(4), pp.427-428, 2017