

地元の主要産業品である高級石材凝灰岩「竜山石」の特性を活かした塗装剤の開発

兵庫県立加古川東高等学校 地学部（竜山石商品開発班）

岩本有加 竹谷亮人 松下紗矢香

1. はじめに

これまで地学部は7年間、竜山石の特性について研究をおこなってきた。その研究の中で、竜山石はやわらかく加工しやすく、吸水性や保水性に優れているため、都市の敷石として利用すると、「打ち水効果」が発揮され、路地の気温を低下させる効果があることを見出した（兵庫県立加古川東高等学校地学部, 2009・2010・2011a・2011b）。「打ち水効果」とは、夏の夕方に路地の敷石に水をまき、敷石が吸った水が徐々に蒸発することで気化熱として路地の熱を奪い、空気の流れて気温が下がる効果をいう。「打ち水効果」が高く、敷石に適する石は、吸水性に優れ、蒸発量が多いということが条件である。

多くの実験を重ね、竜山石と他の敷石として市販されている複数の石材の岩石構造、吸水量、蒸発量、比熱の値を比較した結果、竜山石が高い「打ち水効果」をもっていることがわかった。私たちは、この結果を地元の石材業者と共に都市開発計画として加古川市や高砂市に提言したいと考えた。しかし、竜山石は高級石材であるため、価格が障害となって、竜山石そのものを敷石として用いることは難しいという問題に直面した。そこで、竜山石のもつこの独特の性質を何か別の方法で活かすことはできないかと議論を重ねた結果、地元の石材業者が竜山石を切り出し、整形する際に出て処理に困っているという大量の粉末に着目することにした。廃棄物になってしまう粉末の再利用方法を考え、環境に配慮したりサイクル商品としてどのような可能性が考えられるのかを検討した結果、内装用塗装剤として利用する方法がもっとも商品化の実現性が高いと考えた。竜山石の優れた調湿力（空気中の湿度が高いと水分を吸収し、低いと放出する能力）は、竜山石の粉末ももっていることから、竜山石の粉末を塗装剤の材料として練り込み、一般的に用いられている他の内装用塗装剤と、調湿機能や費用を比較することを目的として研究をおこなった。

2. 内装用塗装剤の調湿性の実験方法

竜山石の内装用塗装剤としての特性を調べるために、一般に内装用塗装剤として用いられているものと比較することにした。内装用塗装剤として一般に用いられているものには、消石灰入りの漆喰や珪藻土入りの塗装剤がある。これらと竜山石を練り込んで作った塗装剤の調湿力を比較するための実験をおこなった。

(1) 実験器具

- ・ 試料を塗布するコルク板（縦 450mm×横 300mm×厚さ 2mm）
- ・ ふた付き水槽（縦 26cm×横 51cm×高さ 30cm）
- ・ 温度計、湿度計、気圧計
- ・ ビーカーに入れた湯、シリカゲル
- ・ 電子てんびん
- ・ 水槽を密閉するためのビニールテープ

(2) 実験に使用した試料

消石灰入りの漆喰、珪藻土入りの塗装剤、竜山石を練り込んだ塗装剤を、手作業で混ぜ合わせて作成し試料とした。それぞれの塗装剤の作成成分と配合比は表1のとおりで、これはそれぞれの塗装剤の一般的な成分割合である。塗装剤としての実用的な調湿力を比較する実験であるため、本来の配合比で作成しなければ意味がない。竜山石を加工する際に大量に出される微細な粉末（粒子直径 $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 、平均 $2.6\mu\text{m}$ ）をメチルセルロースに練り込み、竜山石入りの塗装剤とした。粉末の大きさは、100粒をマイクロメーターで測定して求めた。竜山石を練り込んだ塗装剤は、筆者らが新たに提案するものなので、決まった配合比がなく、作成にあたっては自ら配合比を検討する必要があった。そこで、塗装剤に混ぜ込まれた粉末消石灰や珪藻土のかわりに、それらと同じ比率になるように、2種類の異なる混合比で竜山石の粉末を混ぜ込んだ試料を作成した。無添加住宅の壁の仕様では、一般に炭化コルクに塗布するという情報を得たため、今回の実験では4種類の塗装剤をコルク板に塗布したものを試料とした。実験条件をそろえるために、コルク板に塗布した塗装剤を削り取り、乾燥質量をすべて397gにそろえた。実験は、試料を塗布したコルク板を、気温 29.9°C 、湿度 50.8% の大気に十分な時間だけ放置した後、シリカゲルを入れて乾燥状態を維持した水槽と、湯の入ったビーカーを入れて高湿度を維持した水槽にそれぞれ入れて密閉した(図1)。これら2種類の水槽を用意したのは、各試料が高湿度の空間と低湿度の空間のそれぞれにおいてどのくらいの調湿をおこなうかを比較観察するためである。水槽内の温度と湿度を測定しながら2時間静置して取り出し、コルク板の質量の変化を測定した。コルク板そのものが吸水や蒸発をおこなうため、何も塗布しないコルク板でも同様の実験をおこない対照実験とした。

塗装剤	成分と量 (配合比)	混合時質量	実験質量
消石灰入漆喰	粉末消石灰 2kg メチルセルロース 150g 水 1リットル	3150g	397g
珪藻土入塗装剤	珪藻土 680g アクリル樹脂エマルジョン 1070g 水 1.4リットル	3150g	397g
竜山石入塗装剤	竜山石粉末 2kg メチルセルロース 150g 水 1リットル	3150g	397g
	竜山石粉末 680g メチルセルロース 1070g 水 1.4リットル	3150g	397g

※混合時質量は、成分を水で練った際の質量、これをコルク板に塗布して乾燥させた後、すべての塗装剤の質量を397gにそろえるように表面を削り取って実験に用いた。

表1 塗装剤試料の成分と配合比

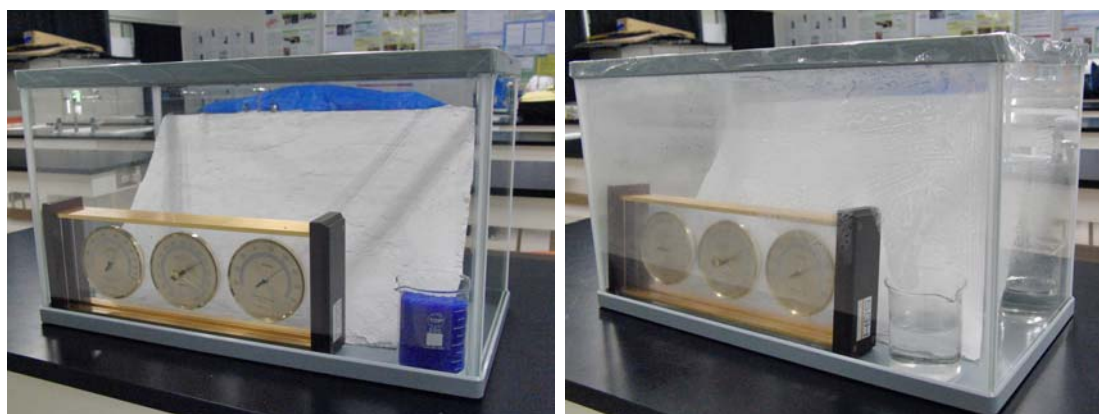


図1 乾燥させた水槽内(左)と高湿度を維持した水槽内(右)での実験

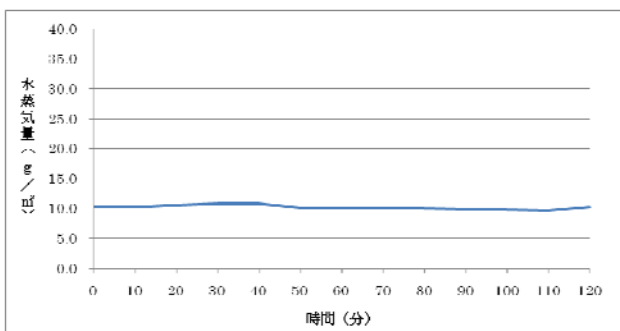
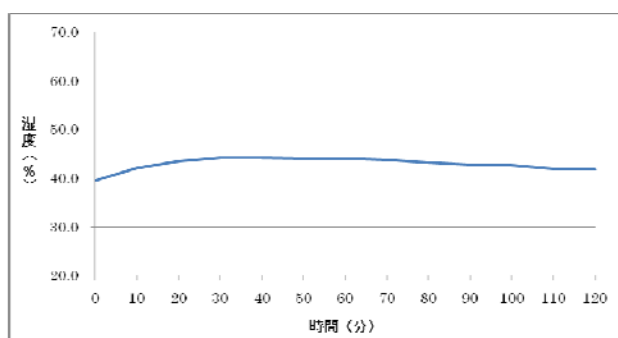
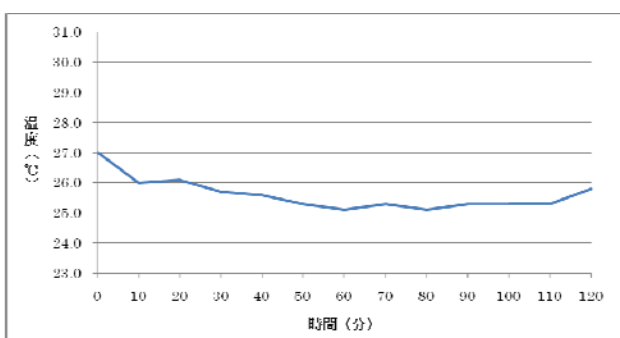
3. 実験結果

(1) 何も塗布しないコルク板による対照実験

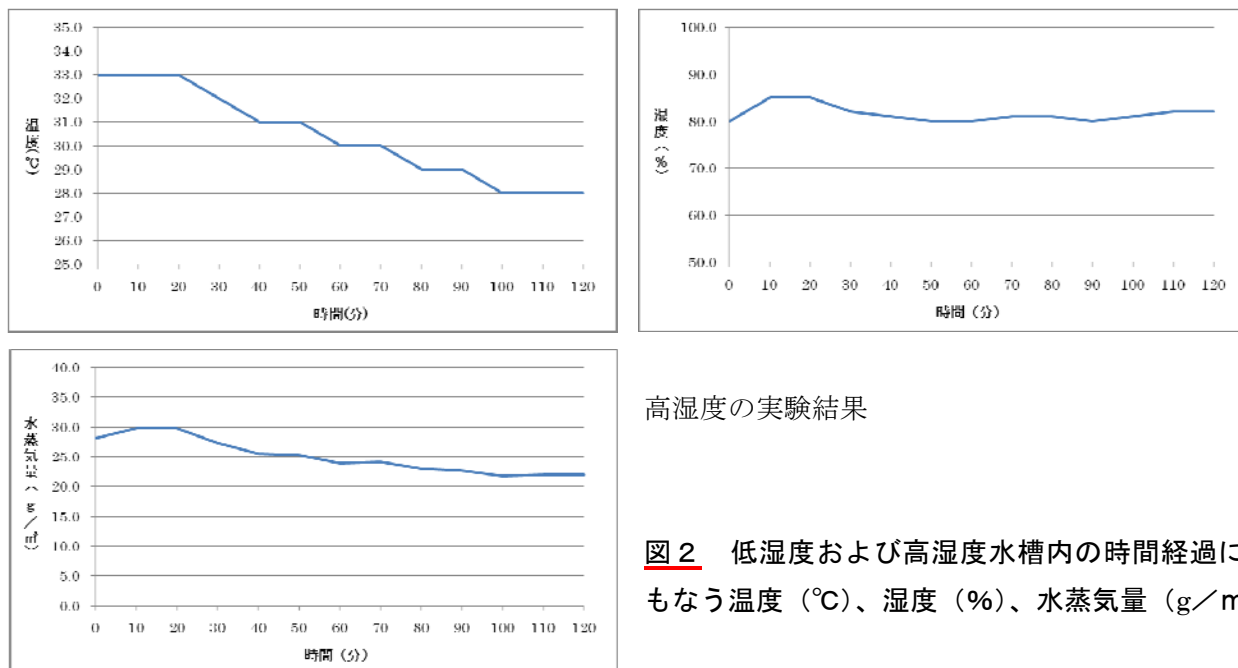
低湿度および高湿度の条件下で、何も塗布しないコルク板のみの実験をおこなった。これは、試料実験の結果からコルク板の影響を除去するための対照実験である。水槽内の温度、湿度、水蒸気量の推移の数値（表2）とそのグラフ（図2）を以下に示した。総吸水量は2.3g、総蒸発量は-0.8gであった。

時間 (分)	温度(°C)	湿度 (%)	水蒸気量 (g/m ³)	温度(°C)	湿度 (%)	水蒸気量 (g/m ³)
0	27.0	39.5	10.2	33.0	80.0	28.1
10	26.0	42.0	10.2	33.0	85.0	29.8
20	26.1	43.5	10.6	33.0	85.0	29.8
30	25.7	44.2	10.8	32.0	82.0	27.3
40	25.6	44.2	10.8	31.0	81.0	25.6
50	25.3	44.1	10.1	31.0	80.0	25.2
60	25.1	44.0	10.1	30.0	80.0	23.9
70	25.3	43.7	10.1	30.0	81.0	24.2
80	25.1	43.2	9.9	29.0	81.0	23.0
90	25.3	42.8	9.8	29.0	80.0	22.7
100	25.3	42.6	9.8	28.0	81.0	21.8
110	25.3	41.9	9.6	28.0	82.0	22.0
120	25.8	41.8	10.2	28.0	82.0	22.0
平均値	25.6	42.9	10.2	30.4	81.5	25.0

表2 低湿度および高湿度水槽内の時間経過にともなう温度、湿度、水蒸気量の推移



低湿度の実験結果



高湿度の実験結果

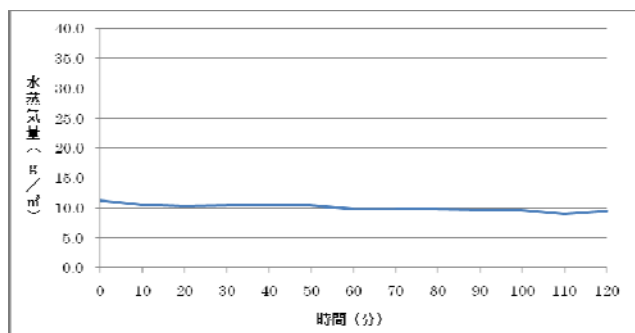
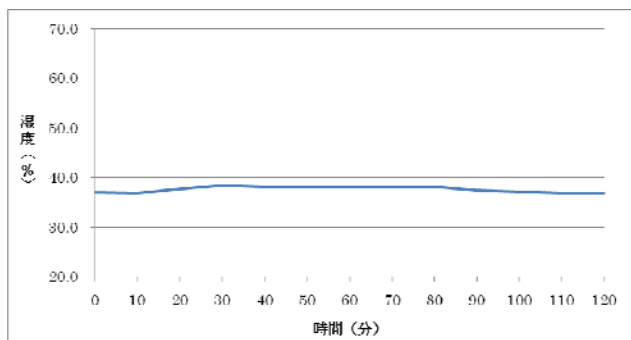
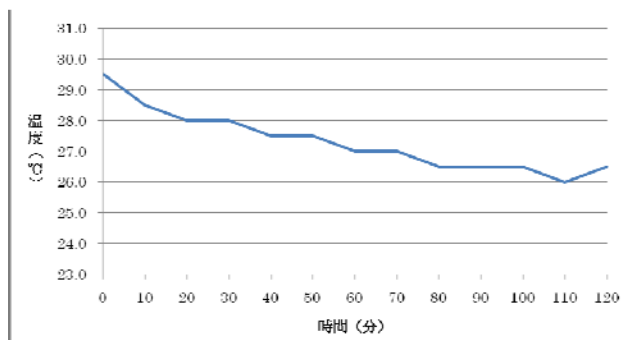
図2 低湿度および高湿度水槽内の時間経過にもなう温度 (°C)、湿度 (%)、水蒸気量 (g/m³)

(2) 消石灰入り漆喰

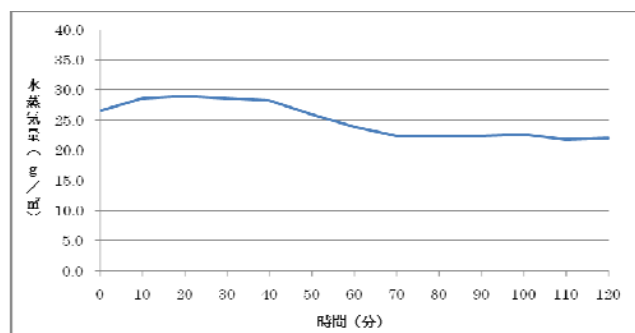
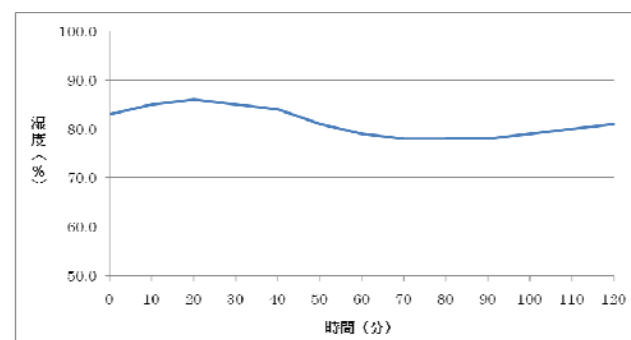
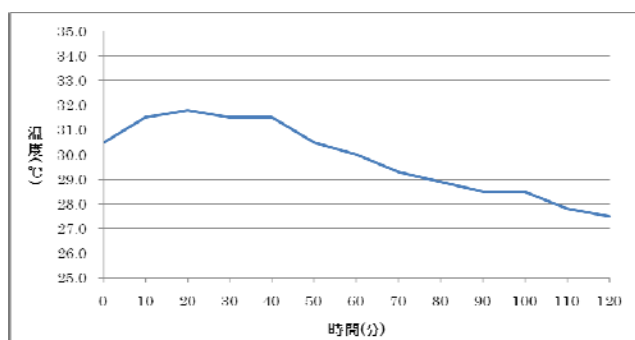
低湿度および高湿度環境下での実験中の温度、湿度、水蒸気量の時間変化 (表3) と、それをグラフ化したもの (図3) を以下に示した。コルク板の吸水量をさし引いた消石灰入り漆喰のみの 120 分間の総蒸発量は 0.7g、総吸水量は 1.4g であった。また、消石灰に混ぜ込まれた漆喰の価格は、粉末漆喰で 1kg あたり 500 円～820 円程度、練り漆喰で 380 円～750 円程度で販売されている。

時間 (分)	温度(°C)	湿度 (%)	水蒸気量 (g/m³)	温度(°C)	湿度 (%)	水蒸気量 (g/m³)
0	29.5	37.0	11.2	30.5	83.0	26.6
10	28.5	36.9	10.6	31.5	85.0	28.6
20	28.0	37.7	10.3	31.8	86.0	29.0
30	28.0	38.4	10.4	31.5	85.0	28.6
40	27.5	38.1	10.4	31.5	84.0	28.3
50	27.5	38.1	10.4	30.5	81.0	25.9
60	27.0	38.1	9.8	30.0	79.0	23.9
70	27.0	38.1	9.8	29.3	78.0	22.4
80	26.5	38.1	9.8	28.9	78.0	22.4
90	26.5	37.4	9.7	28.5	78.0	22.4
100	26.5	37.1	9.6	28.5	79.0	22.7
110	26.0	36.8	9.0	27.8	80.0	21.8
120	26.5	36.8	9.5	27.5	81.0	22.0
平均値	27.3	37.6	10.0	29.8	81.3	25.0

表3 低湿度および高湿度水槽内の時間経過にもなう温度、湿度、水蒸気量の推移



低湿度の実験結果



高湿度の実験結果

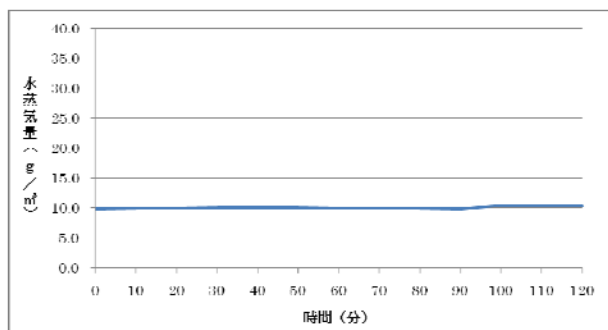
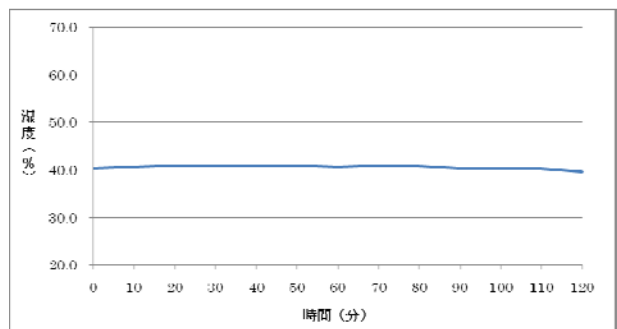
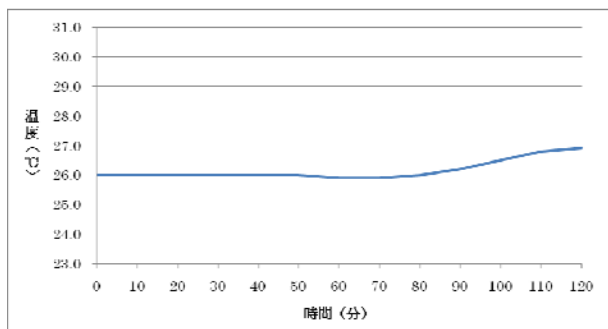
図3 低湿度および高湿度水槽内の時間経過にともなう温度 (°C)、湿度 (%)、水蒸気量 (g/m³)

(3) 珪藻土入り塗装剤

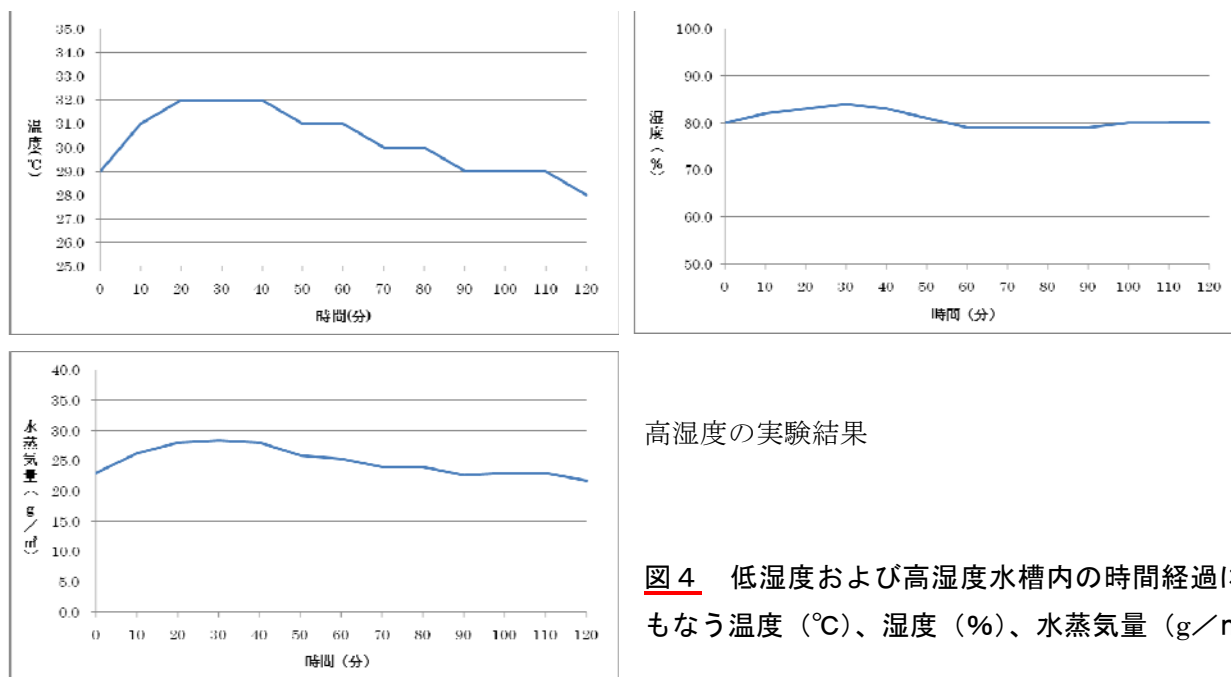
低湿度および高湿度環境下での実験中の温度、湿度、水蒸気量の時間変化(表4)と、それをグラフ化したもの(図4)を以下に示した。コルク板の吸水量をさし引いた珪藻土入り塗装剤のみの120分間の総蒸発量は0.7g、総吸水量は0.6gであった。また、珪藻土を混ぜ込んだ塗装剤の価格は、粉末珪藻土塗装剤で1kgあたり630円~1800円程度、練り珪藻土塗装剤は850円程度で販売されている。

時間 (分)	温度(°C)	湿度 (%)	水蒸気量 (g/m ³)	温度(°C)	湿度 (%)	水蒸気量 (g/m ³)
0	26.0	40.3	9.8	29.0	80.0	23.0
10	26.0	40.6	9.9	31.0	82.0	26.2
20	26.0	40.9	10.0	32.0	83.0	28.0
30	26.0	40.9	10.0	32.0	84.0	28.3
40	26.0	40.9	10.0	32.0	83.0	28.0
50	26.0	40.9	10.0	31.0	81.0	25.9
60	25.9	40.6	9.9	31.0	79.0	25.3
70	25.9	40.9	10.0	30.0	79.0	23.9
80	26.0	40.8	10.0	30.0	79.0	23.9
90	26.2	40.3	9.8	29.0	79.0	22.7
100	26.5	40.3	10.4	29.0	80.0	23.0
110	26.8	40.2	10.4	29.0	80.0	23.0
120	26.9	39.7	10.2	28.0	80.0	21.8
平均値	26.2	40.6	10.0	30.2	80.7	24.8

表4 低湿度および高湿度水槽内の時間経過にともなう温度、湿度、水蒸気量の推移



低湿度の実験結果



高湿度の実験結果

図4 低湿度および高湿度水槽内の時間経過ともなう温度 (°C)、湿度 (%)、水蒸気量 (g/m³)

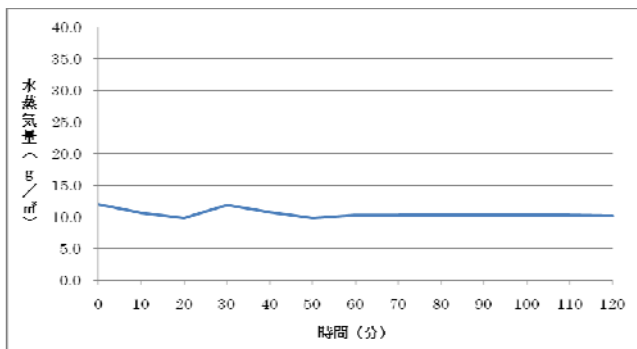
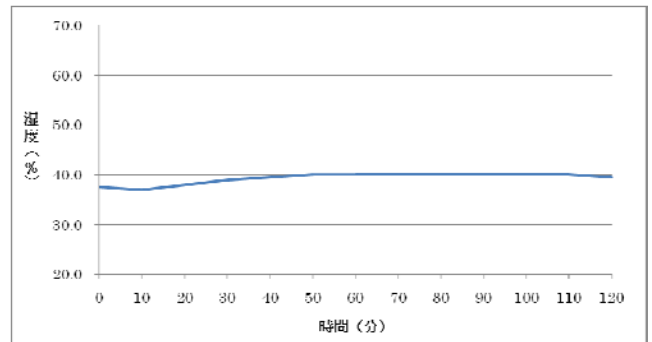
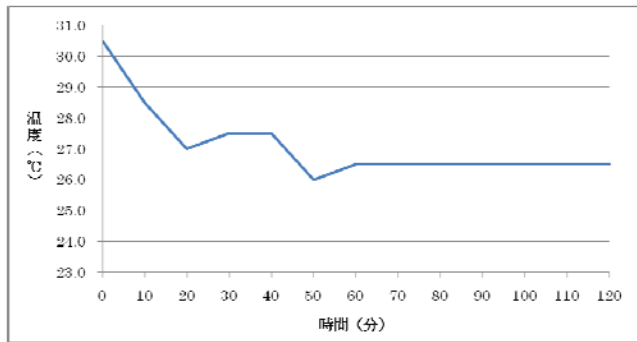
(4) 竜山石入り塗装剤

低湿度および高湿度環境下での実験中の温度、湿度、水蒸気量の時間変化 (表5) と、それをグラフ化したもの (図5) を以下に示した。消石灰と同様の配合比の場合、コルク板の吸水量をさし引いた竜山石入り塗装剤のみの120分間の総蒸発量は2.7g、総吸水量は1.7gであった。一方珪藻土と同様の配合比の場合には、120分間の総蒸発量は1.1g、総吸水量は0.7gであった。竜山石粉末2kg：メチルセルロース150gの配合比の場合でも、1kgの練り塗装剤作成にかかる費用は190円程度(メチルセルロースにかかった費用)である。もちろん竜山石の粉末は廃棄物のため無料で入手できる。

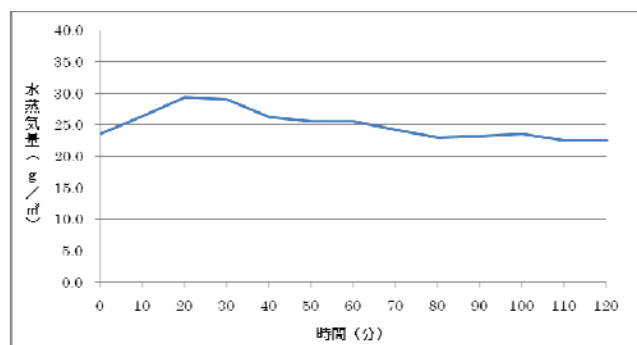
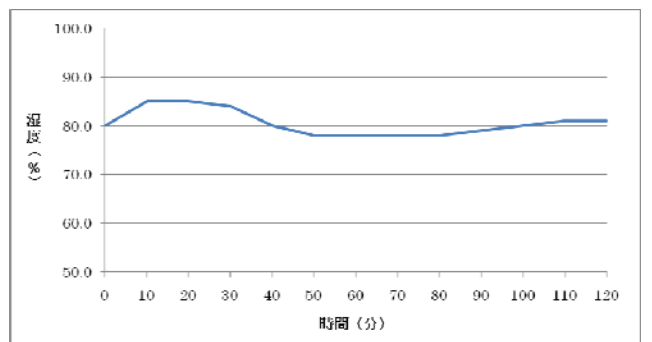
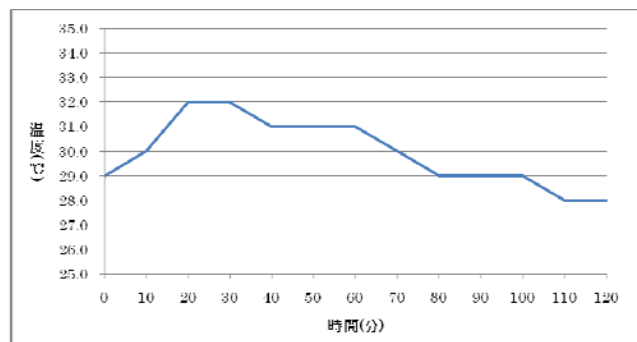
時間 (分)	温度(°C)	湿度 (%)	水蒸気量 (g/m ³)	温度(°C)	湿度 (%)	水蒸気量 (g/m ³)
0	30.5	37.5	12.0	29.0	80.0	23.5
10	28.5	37.0	10.6	30.0	85.0	26.3
20	27.0	38.0	9.8	32.0	85.0	29.4
30	27.5	39.0	11.8	32.0	84.0	29.0
40	27.5	39.5	10.7	31.0	80.0	26.2
50	26.0	40.0	9.8	31.0	78.0	25.5
60	26.5	40.0	10.3	31.0	78.0	25.5
70	26.5	40.0	10.3	30.0	78.0	24.2
80	26.5	40.0	10.3	29.0	78.0	22.9
90	26.5	40.0	10.3	29.0	79.0	23.2
100	26.5	40.0	10.3	29.0	80.0	23.5
110	26.5	40.0	10.3	28.0	81.0	22.6

120	26.5	39.5	10.2	28.0	81.0	22.6
平均値	27.1	39.3	10.5	29.9	80.5	25.0

表5 低湿度および高湿度水槽内の時間経過にともなう温度、湿度、水蒸気量の推移



低湿度の実験結果



高湿度の実験結果

図5 低湿度および高湿度水槽内の時間経過にともなう温度 (°C)、湿度 (%)、水蒸気量 (g/m³)

4. 考察

竜山石は、消石灰や珪藻土入りの塗装剤に比べて、乾燥した環境では高い蒸発力を持ち（表6）、空気中の湿度が高い環境では高い吸水力を示した（表7）。一般的な配合比で混合した内装用塗装剤と比較すると、消石灰入りの漆喰と同じ配合比で混合した竜山石入りの塗装剤は、もっとも優れた調湿性をもつ。

さらに、価格を比較すると、消石灰入りの漆喰と同じ配合比で混合した竜山石粉末は群を抜いて安価であることがわかり、十分に商品として生産販売が可能であると考えられる。これは、本来廃棄物となってしまう竜山石の粉末を材料として用いているからである。

竜山石の粉末を商品とするには、①調湿力をはじめとする竜山石の特性を十分に活かすことができる製品であること、②安価で汎用に足ること、③十分な耐久性があること、が必要である。今回の研究では、廃棄物の再利用として、内装用塗装剤としての利用の提案をおこなった。これは、地元産業を新たに活性化することに役立つものと期待される。

試料名	温度(°C)	湿度(%)	水蒸気量(g/m ³)	蒸発量(g)	価格(円/kg)
消石灰入りの漆喰	27.3	37.6	10.0	0.7	500~820
珪藻土入りの塗装剤	26.2	40.6	10.0	0.7	630~1800
竜山石を練り込んだ塗装剤	27.1	39.3	10.5	2.7 (消石灰配合比)	190
				1.1 (珪藻土配合比)	1370

表6 乾燥した環境での蒸発量の比較

試料名	温度(°C)	湿度(%)	水蒸気量(g/m ³)	吸水量(g)	価格(円/kg)
消石灰入りの漆喰	29.8	81.3	25.0	1.4	500~820
珪藻土入りの塗装剤	30.2	80.7	24.8	0.6	630~1800
竜山石を練り込んだ塗装剤	29.9	80.5	25.0	1.7 (消石灰配合比)	190
				0.7 (珪藻土配合比)	1370

表7 空気中の湿度が高い環境での吸水量の比較

5. 今後の課題

竜山石入りの内装用塗装剤については、最も効果的な配合比を検討することが必要である。さまざまな配合比で実験をおこない、地元を活性化させる商品化に向けて努力したい。また、塗装剤としての十分な耐久性があるかどうかについての検証をおこなわなければならない。はじめに紹介したように、竜山石には青、黄、赤の3色の色相のものがあり、それらは風化変質の程度の違いやマグマ残液の影響の有無を反映している。つまり竜山石は、温度や圧力、酸素の有無によってさまざまに色相を変化させる性質をもっている。3色の粉末を釉薬として用いて陶器を焼くと、用いる粉末の色や、焼き上げる時間、温度によって発色が異なるなど、釉薬としての価値が見いだせる可能性がある。

6. 引用文献

兵庫県立加古川東高等学校地学部 (2009) マグマ残液流体相と風化変質作用が凝灰岩に与えた影響

～高級石材「竜山石」の成因～（未来の科学者との対話Ⅶ, 54～76, 日刊工業新聞社）

兵庫県立加古川東高等学校地学部（2010）マグマ分化末期の流体相の状態を推定する～凝灰岩の加熱実験から，その赤色化を指標にして～（未来の科学者との対話Ⅷ, 28～55, 日刊工業新聞社）

兵庫県立加古川東高等学校地学部（2011a）加古川市－高砂市に点在する古墳時代の石棺の考古学的－鉱物学的研究（未来の科学者との対話Ⅸ, 186～195, 日刊工業新聞社）

兵庫県立加古川東高等学校地学部（2011b）地元に分布するガラス質結晶凝灰岩「竜山石」の赤色化の原因（坊っちゃん科学賞研究論文コンテスト入賞作品集，印刷中，東京理科大学）